TEHNOLOGII CALITATE MAȘINI MATERIALE

3

PROGRES TEHNIC

- **MODERNIZAREA TEHNOLOGIILOR ȘI PRODUSELOR**

  Tehnologiile, informatica și calitatea
  Rezolvări ce pot fi aplicate și în alte întreprinderi

- **CONCEPTE ȘI STRATEGII**

  Efecte tehnice și economice ale CPAC
  Corelații de sistem în organizarea proceselor de producție
  Informațiile de proces și valorificarea inteligenței tehnice

- **MAȘINI, UTILAJE, SDV-URI**

  Dezvoltarea celulelor și sistemelor de prelucrare
  Coeficientul de frecare de alunecare
  Umplerea politropică a unui volum constant
  Mecanisme cu lanț la alimentarea automată a m.u.
  Recipiente cilindrice cu pereți groși

- **MATERIALE. ELABORARE, UTILIZARE, ÎNLOCUITORI**

  Adezivi anaerobi
  Materiale metalice rezistente la uzare

- **TEHNOLOGII DE MARE EFICIENȚĂ ECONOMICĂ**

  Electrotehnologii cu fascicule de electroni
  Prelucrarea prin electroeroziune
  Nitrurarea ionică și bororarea
  Așchierea metalelor în condiții criogenice

- **INGINERIA CALITĂȚII. FIABILITATE**

  Fiabilitatea transmisiilor prin lanțuri
  Probleme de diagnostic tehnic

- **ACTUALITĂȚI TEHNICO-ȘTIINȚIFICE**

TM
CM

Scanned with OKEN Scanner

TEHNOLOGII
CALITATE
MAȘINI
MATERIALE

3

EDITURA TEHNICĂ

București, 1988

Scanned with OKEN Scanner

Autorii materialelor publicate în acest volum:

SUZANA GÂDEA
FLORIN TĂNĂSESCU
DAN PAVELESCU
ANDREI TUDOR
NICOLAE APOSTOLESCU
GHEORGHE ZĂTREANU
VSEVOLOD RADCENCO
LUMINIȚA RADCENCO
IONEL GAVRILAȘ
NICULAE MARINESCU
MIHAI PETRE
RADU MARINESCU
ALEXANDRU DORIN
NICOLAE PREDINCEA
ADRIAN GHIONEA
PETRE CROITORU
CRISTIAN RUSET
ALEXANDRU PÎRLAN
GHEORGHE HUBCA
CRISTIAN OPRESCU
MIHAI DIMONIE
AUREL SANDU
DRAGA ATANASIU
BARBU MIHĂESCU
DUMITRU MOCANU
ALECSANDRU PAVEL
MIHAIL RENERT
ȘERBAN SĂNDULESCU
SORIN CIUREA
IOAN MARINESCU
GHEORGHE MANEA
NICOLAE GUJA
L. M. RÎBAKOVA
L. I. KUKSENOVA
MIHAI MIHAESCU
COSTIN IFRIM
IOSIF TĂPĂLAGĂ
HORAȚIU IANCĂU
PETRE BERCE
FILIP ILIE
MIHAI POPA
ION MUSCAN

Colectivul de redacție:

VASILE BUZATU (red. coord.)
MARIA ANTOINETTE IONESCU
PAUL IORDĂNESCU
NICOLAE VOICU

Scanned with OKEN Scanner

Cuprins

I. Modernizarea tehnologiilor şi produselor 5

1. Tehnologiile, informatica şi calitatea, factori determinanţi în modernizarea construcţiei de maşini (Florin Tănăsescu) 6
2. Rezolvări ce pot fi aplicate şi în întreprinderile în care lucraţi (Alexandru Pîrlan) 14

Din realizările institutelor de cercetare ştiinţifică şi inginerie tehnologică ICTCM şi ICSITPSCM 17

II. Concepte şi strategii de introducere a tehnologiilor moderne 19

3. Efecte tehnice şi economice ale aplicării cercetării şi proiectării asistate de calculator (Şerban Săndulescu) 20
4. Corelaţii de sistem reflectate în proiectul de organizare a proceselor de producţie (Sorin Ciurea) 32
5. Informaţiile de proces-formă de valorificare a inteligenţei tehnice (Gheorghe Manea) 44

III. Maşini, utilaje şi SDV-uri. Proiectare, construcţie, tipizare 59

6. Preocupări actuale şi de perspectivă în domeniul dezvoltării celulelor şi sistemelor de prelucrare în R. S. România (Aurel Sandu, Draga Atanasiu, Barbu Radu Mihăescu) 60
7. Coeficientul de frecare de alunecare — evoluţia şi utilitatea sa (Dan Pavelescu şi Andrei Tudor) 73
8. Procesul ireversibil nestaţionar de umprele politropică a unui spaţiu de volum constant (Vsevolod Radcenco şi Luminiţa Radcenco) . . . 84
9. Mecanisme de transport cu lanţ utilizate în sistemele de alimentare automată a maşinilor-unelte (Alexandru Dorin, Nicolae Predincea, Adrian Ghionea) 98
10. Importanţa particularităţilor geometrice, ale recipientelor cilindrice cu perete gros la adoptarea unor criterii de dimensionare mai economice (Ion Muscan) 123

IV. Materiale. Elaborare, utilizare, reciclare, înlocuitori 131

11. Adezivi anaerobi (Gheorghe Hubca, Cristian Oprescu, Mihai Dimonie) 132
12. Materiale metalice rezistente la uzare (L. M. Rîbakova şi L. I. Kuksenova) 154

V. Tehnologii industriale de mare eficienţă economică 167

13. Electrotehnologii bazate pe aplicaţii ale fasciculului de electroni (Florin Teodor Tănăsescu, Mihai Mihăescu şi Costin Ifrim) 168
14. Prelucrarea prin electroeroziune a suprafeţelor complexe de revoluţie (Ionel Gavrilaş, Niculae Ion Marinescu, Mihai Petre şi Radu Marinescu) 207
15. Nitrurarea ionică şi borurarea — tehnologii moderne şi eficiente de durificare superficială a pieselor din oţel sau fontă (Petre Croitoru şi Cristian Ruset) 243
16. Prelucrarea metalelor şi aliajelor prin aşchiere în condiţii criogenice (Iosif Tăpălagă, Horaţiu Iancău, Petre Berce) 247

Scanned with OKEN Scanner

VI. Ingineria calității. Fiabilitate 263

17. Fiabilitatea funcțională a transmisiilor prin lanțuri (Andrei Tudor și Filip Ilie) 264
18. Probleme de diagnostic tehnic (Mihail Renert) 278

VII. Actualități și informații tehnico-științifice 285

19. Sesiunea științifică „Materiale metalice și progresul tehnic". Academia R.S.R., București, 20 noiembrie, 1987 (Suzana Gâdea) 286
20. Tribotehnica '87. A 5-a Conferință a specialiștilor în frecare-ungere-uzare (Dan Pavelescu) 296
21. Simpozionul „Mașini-unelte și sisteme flexibile de prelucrare ICSITMU Titan '87 (Nicolae Guja) 299
22. Simpozionul „Cercetări teoretice și experimentale privind perfecționarea utilajului petrolier (Dumitru Remus Mocanu) 301
23. Simpozionul „Procese și produse noi pentru combaterea coroziunii", Piatra Neamț, 23—25 septembrie, 1987 (Alecsandru Pavel și Mihai V. Popa) 303
24. Sesiunea de comunicări științifice „Tendințe și noutăți în domeniul motoarelor termice" SIM '87 (Nicolae Apostolescu și Gheorghe Zătreanu) 312
25. A IX-a Conferință internațională de cercetări ale proceselor de producție (Ioan D. Marinescu) 315
26. Scurte informații tehnice 317
27. Lucrări apărute la Editura Tehnică în anul 1987 320
28. Din lucrările apărute la Editura Tehnică în semestrul I 1988 323
29. Lucrări ce vor apărea în curînd la Editura Tehnică 324
30. Librăriile la care se pot trimite comenzile de carte tehnică 325

Scanned with OKEN Scanner

Scanned with OKEN Scanner

I

MODERNIZAREA TEHNOLOGIILOR ȘI PRODUSELOR

1

Tehnologiile, informatica și calitatea, factori determinanți în modernizarea construcției de mașini

Prof. dr. ing. *Florin Teodor Tănăsescu*
Institutul de Cercetări pentru Industria Electrotehnică

Revoluția tehnico-științifică ce se anticipă reprezintă o formă complexă de manifestare a procesului de restructurări pe care îl parcurge știința și tehnologia contemporană, în stăruința sa de a găsi soluții viabile în problemele ce vizează progresul societății umane.

Caracteristica definitorie a strategiei de dezvoltare economică intensivă, adoptată de Congresul al XIII-lea al Partidului pentru perioada 1986—1990 și în perspectivă pînă în anul 2000, o constituie fundamentarea obiectivelor și direcțiilor de acțiune pornind de la premisa creșterii impactului cuceririlor științei asupra structurilor industriale, modernizarea lor.

Trecerea de la creșterea extensivă la cea intensivă este un proces de transformare profundă a sectoarelor economiei naționale și a însăși mecanismelor ei, întrucît dezvoltarea intensivă va trebui să atragă în circuitul economic acele mijloace care să permită ca, prin organizare și modernizare, prin introducerea celor mai noi cuceriri ale științei, să se perfecționeze sistemul economic, cu consecințele firești ce rezultă pentru productivitate, calitate, eficiență economică.

Aflați în cea de a II-a etapă de desfășurare a programului de perfecționare a organizării și modernizare a proceselor de producție, deja se desprind o serie de rezultate, valoroase nu numai prin rezolvările date, dar, în special, din punctul de vedere al generalizării lor, al atingerii unor eficiențe ridicate. Considerînd că, în ceea ce privește dezvoltarea construcțiilor de mașini, problemele tehnologiilor de vîrf, calității și informației vor juca un rol important nu numai în dezvoltarea domeniului unde apar, ci și în celelalte, pe care aceste tehnici se vor grefa, se vor prezenta succint cîteva rezolvări obținute de colective din cercetare și industrie cu largi implicații în dezvoltarea unor domenii.

1. Tehnologiile și modernizarea

Importanța acordată prin obiectivele de plan tehnologiilor, își are explicația în înțelegerea faptului că în ultimă instanță, la performanțe tehnice comparative pentru două produse, factorul esențial de decizie în cla-

Scanned with OKEN Scanner

sificarea acestora este modul în care au fost realizate, reflectat în productivitate, consumuri materiale și energetice, reproductibilitate în procesul de fabricație. Iată motivul pentru care tehnologiile, — și în special în domeniul construcțiilor de mașini —, s-au bucurat de o sporită atenție din partea sectoarelor de concepție din institute și fabrici atît pentru modernizarea propriilor procese cît și a celor din alte sectoare și pentru care urmează să le asigure echipamentele.

Sectorul de prelucrări ocupă în continuare un loc important în procesele de fabricație. Finețea prelucrărilor, asigurarea unei productivități înalte, mărirea numărului de funcții pe care-l poate asigura o mașină, „flexibilitatea", în cadrul unui proces tehnologic, constituie cerința importantă care se pune astăzi unui utilaj. Însăși noțiunea de mașină-unealtă — sau formă a sa — capătă noi semnificații, noi reprezentări. Nu toate mașinile unelte noi vor avea piese active în mișcare — electroeroziunea este un exemplu — iar din punct de vedere al formei, o instalație de sudură în fascicul de electroni sau de prelucrări cu laseri, se diferențiază esențial de reprezentările pe care le-am avut pînă acum despre forma mașinilor-unelte. În acest cadru, unele obiective realizate în procesul de modernizare merită a fi amintite tocmai prin larga lor posibilitate de adaptare la procese variate și, în ultimă instanță, la valoroase generalizări.

Dacă este să analizăm structura mașinilor-unelte produse în România în ultimii cinci ani se poate constata o mutație în sensul creșterii ponderii pe care o au mașinile-unelte specializate în comparație cu cele convenționale. Comanda numerică pătrunde tot mai adînc în echiparea mașinilor-unelte, se asigură poziționări de mare precizie, acționările electrice cu motoare de curent continuu și variator — sau mai recent motoarele fără perii — capătă un tot mai larg accept al utilizatorilor, se asigură o dinamică mai economică a mașinii prin alegerea adecvată a motoarelor, de unde o reducere simțitoare a consumurilor energetice. Trebuie remarcat și un alt element esențial: faptul că mașina-unealtă devine plurifuncțională, ea capătă noi completări de funcții, putîndu-se realiza simultan o serie de operații, de unde și productivitățile ridicate pe care le asigură. Organizarea industrială pe „celule de fabricație", în cadrul unor sisteme de mare flexibilitate, existența unor manipulatoare și roboți care asigură interfațările între acestea, sau intră în componența lor, este primul pas spre conducerea unui proces de fabricație integrat, spre secțiile de fabricație complet automatizate, cu participarea oamenilor în punctele esențiale ale procesului tehnologic.

Cîteva exemple, evidențiate din realizările anului 1987, ilustrează această concepție și, totodată, sugerează anumite generalizări.

În domeniul prelucrărilor mecanice prin operații de frezare, găurire, alezare, filetare și lamare în ciclu automat a fost asimilată la Întreprinderea de Mașini-Unelte București centrul de prelucrare cu ax orizontal deplasabil longitudinal cu masă paletabilă de 1 250×1 250 mm (CPAFC 130-4), care, din punctul de vedere al performanțelor asigurate, este similar unor produse performante din străinătate. Dispunînd de turații cuprinse între 5 și 2 000 rot/min, cu posibilitate de avans pe patru axe,

Scanned with OKEN Scanner

echipat cu mîini mecanice, cu viteze ridicate de 1 000 . . . 9 000 mm/min, și cu o magazie de scule ce se poate deplasa rapid (20 000 mm/min), echipamentul asigură productivități deosebite, ceea ce impune prevederea sa în sectoare importante industriale din construcția de autovehicole și tractoare, echipamente de foraj etc. Se poate remarca de asemenea un alt centru de prelucrare prin frezare orizontală (CPFH-40), care se va asimila în anul 1988 la Întreprinderea de Mașini-Unelte Marghita, dispunînd de o magazie cu 32 de scule, cu precizii de poziționare de 20 μm și cu timpi minimi de schimbare a sculei (5 secunde), care, prin productivitățile ridicate pe care le asigură, îl recomandă a fi implementat în întreprinderile construcțiilor de mașini și în alte sectoare ce prelucrează piese de dimensiuni medii și care impun o modernizare a fluxurilor tehnologice pentru asigurarea unei productivități ridicate.

Pentru strunjirea unor piese avînd forma de disc, de diametre maxime de 200 mm și de lungimi de 145 mm, Institutul de Cercetare Științifică și Inginerie Tehnologică pentru Mașini-Unelte (ICSITMU) din București împreună cu Întreprinderea de Mașini-Unelte Arad asimilează în anul 1988 o celulă flexibilă pentru operații de strunjire prevăzută cu automat cu robot atașabil pentru operațiile de încărcare-descărcare piese. Este o mașină care asigură calități de prelucrare și productivitate superioare, este condusă prin automat programabil și are posibilitate de diagnoză, ceea ce îi conferă largi și eficiente posibilități de utilizare.

O contribuție deosebită la dezvoltarea acestor construcții o are ICSITMU și colectivele de concepție din unitățile care au asimilat echipamentele, desprinzîndu-se numeroase elemente de noutate, originalitatea unor rezolvări care se vor reflecta în mod pozitiv asupra productivității liniilor pe care le vor echipa și a calității produselor ce vor rezulta în cadrul acestora.

Desigur că în multe din liniile de producție ce urmează a fi modernizate vor fi regăsiți roboți și manipulatoare, evident acolo unde calitatea și frecvența repetării unor operații tehnologice impun opțiunea pentru asemenea sisteme. Anul 1988 va consemna o generalizare a unor roboți de sudură în industria automobilului, în fabricile de panouri mari metalice, specifice industriei electrotehnice, după cum pentru împachetări de produse (acumulatoare electrice, miezuri de mașini electrice) sau ambalări, sortări etc. vor fi dezvoltate noi soluții constructive la Electromotor Timișoara, Automatica București ș.a.

Industria automobilului va dispune în anul 1988 de cîteva tehnologii moderne bazate pe aplicații ale roboților în sudura unor subansamble. Din rîndul acestora se vor menționa unele rezultate ale Întreprinderii de Autoturisme de Teren ARO Cîmpulung care împreună cu Institutul de Cercetare Științifică și Inginerie Tehnologică pentru Electrotehnică (ICPE) a pus la punct o serie de tehnologii de sudură specifice industriei de automobile. Pentru sudura punților s-a dezvoltat un robot care realizează suduri continue în sistemul MIG-MAG, la fiecare maximum două minute obținîndu-se o punte sudată. Totodată, sistemele de alimentare asociate asigură, prin intermediul unei mese de alimentare, pregătirea pentru sudură a două punți, crescînd în acest fel productivi-

Scanned with OKEN Scanner

tatea muncii. Față de tehnologia veche, la realizarea unui cordon de sudură de circa 4 . . . 500 mm a crescut și productivitatea muncii de 2,5 ori.

Un al doilea robot, specializat pentru realizarea unor suduri în puncte la diverse piese auto (table de 0,3 mm) asigură o cadență de 7 puncte de sudură pe minut, obținîndu-se o productivitate de 2 . . . 3 ori mai ridicată, ceea ce va conduce firesc la lărgirea seriei de aplicații și pentru alte familii de piese.

Pentru aceeași întreprindere, Automatica a dezvoltat o celulă de sudură în puncte pentru portierele autoturismului ARO 10, cu posibilitea de alimentare a mesei rotative cu două subansamble și asigurînd sudura propriu-zisă într-un timp excelent, circa 35 minute. Prin acesta și în acest caz productivitatea muncii va fi de cel puțin 2 ori mai ridicată decît cea practicată anterior.

Se remarcă tendința de tratare a robotului ca un element al unui ansamblu, ceea ce este un lucru pozitiv, cu corelarea performanțelor sale, pe care le asigură în contextul funcționării integrate într-o linie tehnologică, anticipînd, prin aceasta, perspective evidente de creștere atît a numărului aplicațiilor cît și a eficienței acestora.

Și cum, în domeniul prelucrării materialelor, o serie de tehnologii noi, de vîrf, își vor extinde sfera de acțiune, se impune o succintă prezentare a unor tendințe ce se sesizează.

În domeniul prelucrării prin electroeroziune este cunoscut aportul pe care această tehnologie l-a adus atît pe linia sporirii calității și reducerii cheltuielilor de fabricație cît și a creșterii productivității. Mașinile de electroeroziune cu electrod masiv sau filiform, realizate la Întreprinderea Electrotimiș Timișoara și la Întreprinderea Electrotehnica din București, după concepția Institutului de Cercetare Științifică și Inginerie Tehnologică pentru Industria Construcțiilor de Mașini (ICTCM), ICPE, Institutul de Cercetare Științifică și Inginerie Tehnologică pentru Automatizări (IPA), au echipat numeroase scularii, iar cererea de asemenea utilaje — în continuă creștere — ca și solicitările de alte variante constructive dovedesc că ea a răspuns unor probleme impuse de viață, de unde și explicația generalizării rapide a acestor tehnici. Semnificativ pentru anul 1988 este punerea în fabricație a altor cîteva variante constructive dispunînd de generatoare de impuls de curent mai puternice, o automatizare și o electronizare mai complexe ale mașinii, instalații de diagnoză pentru sesizarea rapidă a defectelor, cu o cinematică bazată în special pe acționări electrice în curent continuu și motoare cu rotor disc. Paleta largă a formelor de impuls pe care le asigură, frecvența acestora vor asigura tehnologii și regimuri de prelucrare cu caracteristici superioare.

Experiențele făcute în ultimii ani pe linia realizării unor echipamente de debitare bazate pe laseri au ajuns la o anumită maturitate, lăsînd să se întrevadă că, încă din anul 1988, acestea vor contribui la modernizarea unor procese tehnologice prevăzute cu laseri în CO_2 pentru debitarea unor table, instalații de decupare rapidă pe contur a unor țesături, mase plastice, zone în care tehnologiile convenționale asigură productivități ajunse la o anumită limită, ce poate fi depășită doar printr-o „spargere tehnologică", crearea altui sistem de prelucrare.

Scanned with OKEN Scanner

2. Calitatea se concepe în cercetare, se consolidează în industrie și se menține în exploatare

Modernizarea proceselor de producție își propune, printre alte obiective, asigurarea unei *calități* înalte a produselor realizate, care să permită o participare eficientă și economică în schimburile internaționale de valori. Asigurarea calității este un fenomen complex, care depinde de mulți factori. Calitatea se realizează încă din concepție, se consolidează în procesul de asimilare industrială și se menține apoi în procesul de exploatare, de unde și pentru fiecare zonă, măsuri specifice pentru controlul asigurării calității.

În cele ce urmează se va insista doar asupra unor aspecte generale vizînd calitatea și anume, mijloacele speciale prevăzute pentru evidențierea unor parametri ai unui produs industrial care pot da indicații asupra nivelului de calitate.

Proiectarea asistată de calculator a fost una din direcțiile care au permis cercetării științifice să-și dezvolte tehnici care au contribuit esențial la creșterea productivității muncii în acest domeniu. Din rezultatele anului 1987, cîteva se disting prin valoarea rezolvării. Au fost puse la punct numeroase programe care permit proiectarea automată a unor subansamble; repere, — inclusiv desenarea automată a lor, — dar și posibilitatea de a realiza modificări constructive sau funcționale, cu aplicații în industria autovehiculelor și tractoarelor, în industria aviatică.

În domeniul construcției de nave, optimizarea unor soluții din punct de vedere constructiv-funcțional s-a bazat pe o serie de modificări făcute cu calculatorul electronic, ceea ce a permis să se cunoască mai profund funcționarea unor sisteme complexe atunci cînd se schimbă caracteristici constructive sau funcționale ale unor subansamble. Acest lucru are o importanță deosebită și în domeniul motoarelor termice, al celor de aviație sau al grupurilor energetice, la care, doar prin simularea regimurilor posibile de funcționare, se poate ajunge la o funcționare sigură, economică și cu grad înalt de fiabilitate.

Calculul unor produse complexe, făcut pînă nu demult laborios prin tehnici convenționale și cu posibilități mari de apariții a erorilor datorită factorului uman, pus în condițiile elaborării unui volum important de date, a devenit mult mai simplu prin utilizarea unor programe specializate de calcul; calculul îmbinărilor, al structurilor mecanice ale suspensiilor mecanice, al lagărelor și arborilor, al unor scule și matrițe specializate, al croirii tablelor și al încărcării optime ale unor incinte (nave, vagoane, aeronave etc.).

Controlul produselor în procesul industrial va cunoaște ample modernizări prin realizarea unor standuri specializate care să efectueze volume sporite de încercări, în special prin simularea unor regimuri similare celor întîlnite în exploatare, inclusiv prin simularea unor efecte sinergetice (suprapunere peste parametrii de funcționare a unor factori perturbatori externi: climatici (praf, temperatură, umiditate), vibrații, iradieri etc.), ceea ce va ridica esențial nivelul de calitate a unui produs.

Scanned with OKEN Scanner

Numeroase standuri de încercări vor intra în funcțiune în fabrici și anume pentru încercarea roților conice, a verificării palelor de la elicele unor aeronave, verificarea echipamentelor de aviație, a unor pompe, ventile și sisteme de comandă pentru echipamente energetice, verificarea echipamentelor auto în condiții de rulaj, vibrații, șocuri etc., standuri pentru verificarea anvelopelor, a motoarelor electrice și acționărilor.

Ceea ce este caracteristic acestor standuri este pătrunderea, în mare proporție, a sistemelor inteligente de stocare și prelucrarea informațiilor, efectuarea unor cicluri de încercări după secvențe date, sortarea și îndepărtarea pieselor cu defecțiuni, editarea buletinului de încercări, ceea ce presupune existența unor sisteme de calcul adecvate, a unor calculatoare de proces.

Controlul nedistructiv cu ultrasunete sau prin defectoscopie magnetică cunoaște ample dezvoltări, reducînd în mare măsură eforturile valutare.

Pentru cei ce lucrează în exploatare se prevede ca în anul 1988 să intre în funcțiune o serie de standuri specializate de diagnoză care să permită verificarea unor produse complexe pentru care depanarea unor defecte prin mijloace convenționale ar lua un mare volum de timp. Din această categorie fac parte standurile de diagnoză pentru vagoane de metrou și locomotive, pentru echipamente energetice, pentru instalații de foraj sau navale, pentru tehnica nucleară. Funcțiunile pe care le asigură vor permite obținerea unor productivități sporite, reducerea timpului de staționare a unor echipamente.

Întrucît omul este un factor esențial în ceea ce privește „gestiunea" calității, instruirea sa adecvată cît mai aproape de situația din exploatare, cu ajutorul unor simulatoare, va cunoaște profunde amplificări prin dotarea cu simulatoare de zbor, de instruire a personalului ce deservește o centrală energetică clasică sau nucleară, o navă etc.

3. Informația și sistemele informatice conduc la performanțe superioare

Informația și sistemele informatice reprezintă elementul esențial în conducerea proceselor tehnologice. Nu se vor prezenta în această lucrare problemele generale ce vizează această tematică, ci se va face o succintă particularizare pentru domeniul specific construcțiilor de mașini.

Introducerea calculatorului de proces în construcția de mașini este un lucru cunoscut, existînd deja în țară sisteme de mini- și microcalculatoare care operează în cadrul unor procese tehnologice.

Sfera de aplicație a acestora, va cunoaște, așa cum s-a arătat, amplificări importante, atît în echiparea unor utilaje tehnologice, cît și a unor standuri de probă.

Anul 1988 va marca apariția unor linii de vopsire — în special în industria automobilului — care, pe baza informațiilor culese din diverse zone ale procesului tehnologic (temperatură, pH, conductivitate electrică, agitația băii), vor comanda sistemele de reglaj în așa fel încît regimul de funcționare să se desfășoare la parametrii optimi.

Scanned with OKEN Scanner

Sistemele de comandă distribuite, realizate de IPA și aplicate începînd cu anul 1987, justifică o generalizare a lor în numeroase aplicații ale construcției de mașini, datorită preciziei de reglaj și a eficienței, în special în cazurile în care se realizează sisteme de comandă specifice unor aplicații date.

Nu pot fi omise toate echipările cu tehnică de calcul ce se prevăd pentru sistemele cu roboți, în special cei evoluați, bazați pe recunoașterea de forme sau chiar voce.

Ca perspectivă, electronizarea automobilului — și a tracțiunii în general — va impune optimizarea regimurilor de funcționare în așa fel încît performanțele să crească în special din punct de vedere al consumurilor și al dinamicii, ceea ce va însemna o introducere masivă a tehnicii de calcul, microprocesoare sau microcalculatoare, pentru comanda unor mijloace de transport.

În sfîrșit, conducerea unor secții cu grad înalt de automatizare se prevede a se realiza prin existența unor calculatoare de proces, care să gestioneze, pe de o parte, elementele de fabricație, iar pe de alta, să asigure secvențele de fabricație conform unor programe prescrise, inclusiv prin asigurarea unui control în flux sau diagnoza unor elemente componente ale liniei.

Este evident că „inteligența" unor produse ale construcției de mașini va cunoaște în viitorii ani un salt spectaculos prin realizarea unor calculatoare de proces și a unor programe specializate, pentru echipamentele complexe, pentru comanda unor procese specifice în industria aerospațială și navală, în cea nucleară.

4. Generalizarea rezultatelor, o permanență în preocupările specialiștilor

Se poate afirma cu bună dreptate că o generalizare pe plan larg are aceeași semnificație cu aceea a unei mari descoperiri. Motivația se găsește nu numai în eficiența economică a actului în sine, în sensul că vor exista mai multe echipamente în mai multe locuri și, de aici, posibilitatea obținerii unei valorificări superioare, ci și în faptul că domeniul pe care se grefează este ridicat tehnic și el, la nivelul etalonului primar, unde s-a aplicat pentru prima oară procedeul. Un exemplu cred că va convinge. Folosirea principiilor electrostaticii în operațiile de vopsire a însemnat o revoluționare a tehnicilor clasice nu numai prin aria lor de aplicare — de la obiecte mărunte la automobile — dar și prin efectele pe care le-a generat: calitate, consum de vopsea sau pudră mai redus cu 20—30%, recuperarea pulberilor pierdute în cadrul procesului, economii de energie, posibilitatea de vopsire a unor piese (grilaje, plase, tuburi) care, prin alte tehnici, nu era posibilă. Numai în anul 1987, peste 12 instalații de acest tip, realizate după concepția ICPE, au intrat în dotarea a numeroase fabrici cu implicații tehnico-economice deosebite. Dar aria lor se poate extinde și în alte domenii: în agricultură spre exemplu, unde același principiu poate fi utilizat în alt scop, pentru pulverizarea insecticidelor, realizîndu-se prin acest procedeu importante economii materiale — sub-

Scanned with OKEN Scanner

stanţe active şi combustibil —, productivitate superioară a muncii, intervenţie sigură şi cu eficienţă maximă în combaterea dăunătorilor. Iată că generalizarea unei tehnici asimilate într-un alt domeniu decît în cel în care iniţial a apărut poate provoca mutaţii spectaculoase în planul progresului tehnic şi al eficienţei economice, ridicînd pe o treaptă superioară nivelul de activităţi ce se vor desfăşura în domeniul agriculturii.

Desigur că, din tot ceea ce s-a prezentat, se desprinde ideea că numai un rezultat de valoare obţinut la conceperea unui produs nu este suficient. Este doar o faţă a monedei, cealaltă fiind valorificarea pe plan larg a soluţiilor, generalizarea lor, autentica valoare existînd doar atunci cînd ambele condiţii sînt îndeplinite. Este o cerinţă a epocii, un îndemn şi o responsabilitate pentru cel ce lucrează în domeniul noului.

Scanned with OKEN Scanner

2

Rezolvări ce pot fi aplicate și în întreprinderile în care lucrați

Alexandru Pîrlan
Consiliul Național pentru Știință și Tehnologie

În acest număr se continuă prezentarea realizărilor obținute de unități de cercetare sau de producție din construcția de mașini (vezi TCMM 2), realizări ce fac posibilă accelerarea aplicării măsurilor prevăzute în programele de modernizare a proceselor de producție din unitățile industriei construcțiilor de mașini sau din alte ramuri, în scopul extinderii ariei de aplicare a bunelor rezultate obținute atît de unitățile elaboratoare, cît și de cele care le-au aplicat.

• **Debavurarea termică a pieselor uzinate.** Este o tehnologie ce se recomandă pentru procesele de finisare mecanică din unități ale industriei electrotehnice. În contextul acțiunilor de modernizare a proceselor de producție, această tehnologie se dovedește eficientă prin efectele tehnico-economice ce le generează: creșterea productivității muncii cu 160% și îmbunătățirea calității, la Întreprinderea nr. 2 din Brașov.

Procedeul se aplică cu mare eficiență la piesele cu configurație complexă care prezintă canalizații, intersecții de găuri, unde, prin ajustare, este dificilă eliminarea bavurilor înlocuind astfel ajustarea manuală.

• **Impregnarea în lacuri electroizolante pe instalație de impregnare în vid.** Consecventă preocupărilor sale pe linia elaborării unor tehnologii ce vizează modernizarea proceselor de producție, întreprinderea de Contactoare Buzău a realizat această tehnologie care se recomandă prin caracteristicile sale tehnico-economice. Îmbunătățirea calității, reducerea consumului de energie precum și creșterea productivității muncii cu peste 30% sînt numai o parte din efectele economice ale acestei tehnologii, care înlocuiește impregnarea manuală sau mecanizată prin imersie la presiunea atmosferică.

Toate acestea fac posibilă aplicarea cu foarte bune rezultate în unități din cadrul industriei electrotehnice și în general în cele constructoare de mașini pentru asigurarea rigidizării și a rigidității dielectrice, protecției climatice etc.

• Unitățile de cercetare și proiectare au sarcini majore pe linia acțiunilor de modernizare, ele fiind promotoarele progresului tehnic din economie. Așa este cazul Institutului de Cercetare Științifică și Inginerie Tehnologică pentru Industria Construcțiilor de Mașini (ICTCM),

Scanned with OKEN Scanner

care a elaborat și a aplicat la Întreprinderea Mecanică Mediaș tehnologia **filetarea interioară prin deformare,** procedeu ce folosește mașini de găurit echipate cu capete de filetat, filetarea efectuîndu-se cu scule speciale de tip tarozi fără canale de evacuare, sau pe mașini de filetat verticale.

Efectele tehnico-economice ce se obțin ca urmare a aplicării acestei tehnologii o recomandă spre generalizare în unități cu profil de prelucrări mecanice din toate ramurile. Astfel, este cazul reducerii timpului de lucru, obținerea unor economii de metal de peste 2 tone/an pentru un necesar de 2 000 tarozi fără canale de evacuare a aschiilor sau 400 g/bucată, precum și creșterea calității și a fiabilității.

• O tehnologie cu posibilități multiple de generalizare este și **prelucrarea prin electroeroziune a matrițelor necesare prelucrării de precizie a roților dințate,** elaborată de Institutul de Cercetare Științifică și Inginerie Tehnologică pentru Construcții de Mașini. Principiul de aplicare a acestei tehnologii se bazează pe prelucrarea prin electroeroziune cu electroni masivi a cavității matrițelor aferente prelucrării de precizie a roților dințate.

Aplicarea acesteia are o serie de efecte tehnico-economice cum ar fi reducerea timpului de lucru cu 30%, creșterea productivității cu peste 50%, economii de metal de 1,6 tone/an pentru 4 tone piese/an sau 4 kg/bucată, precum și creșterea calității.

Se recomandă generalizarea ei în unități cu profil mecanic și cu un grad înalt de prelucrare din rețeaua ministerelor industriei construcțiilor de mașini și industriei electrotehnice.

• **Instalație de spălare tip tunel cu bandă transportoare.** Instalația este concepută de Institutul de Cercetare Științifică și Inginerie Tehnologică pentru Industria Construcțiilor de Mașini în colaborare cu Întreprinderea Mecanică Bistrița și este destinată în principal amplasării în liniile de prelucrări mecanice, între două operații de prelucrare succesive sau în finalul liniei.

Caracteristicile sale tehnice permit adaptarea ei la cerințele diverșilor beneficiari.

Efecte economice: reducerea manoperei cu 80%, creșterea productivității cu 400%, creșterea calității.

Toate aceste elemente tehnico-economice o recomandă spre generalizare în unități producătoare ale industriei constructoare de mașini în fluxurile tehnologice din secțiile de prelucrare și montaj. Utilizarea instalației nu presupune probleme deosebite legate de materiale, SDV-uri sau surse energetice speciale.

• Unul din criteriile ce stau la baza acțiunilor de modernizare a proceselor de producție este și cel al creșterii calității produselor. În acest context se înscrie și **instalația de control complex multidimensional pentru arbori în trepte asistată de microcalculator specializat,** concepută de Institutul de Cercetare Științifică și Inginerie Tehnologică pentru Industria Construcțiilor de Mașini și Institutul de Cercetare Științifică și Inginerie Tehnologică pentru Electrotehnică (ICPE) București și aplicată la IMASA Sf. Gheorghe. Aceasta este concepută pentru măsurarea simultană a diametrelor ovalității și conicității arborilor în trepte și este destinată verificării arborilor principali ai cutiilor de viteze.

Scanned with OKEN Scanner

Vom prezenta numai cîteva din efectele tehnico-economice pentru a realiza mai bine posibilitățile de generalizare a ei în unități cu volum mare de prelucrări mecanice: creșterea productivității muncii de 12,1 ori prin reducerea timpului de control, reducerea cheltuielilor cu aproape 300 mii lei pe an, verificarea obiectivă și de precizie ridicată a întregii game de tipodimensiuni de arbori principali, posibilitatea utilizării echipamentului în mediu de hală industrială.

• O tehnologie ce se înscrie perfect în gama celor de vîrf în construcția de motoare este și aceea a **obținerii de conductori cu izolație din polietilenă reticulată** și cu efecte benefice pentru unitățile care realizează conductori. La I.C.P.E. București, acționîndu-se permanent pe linia modernizării, a fost concepută și aplicată această tehnologie ce permite obținerea unor conductori cu izolații din polietilenă de joasă densitate de uz electrotehnic, reticulată prin metoda radiochimică, iradiere cu electroni accelerați, asigurîndu-se unele caracteristici fizico-chimice, mecanice și electrice superioare. Domeniul de aplicare: motoare electrice cu funcționare la temperaturi de pînă la 105 C°.

Efectele tehnice și economice (creșterea volumului de producție și evitarea importului), precum și gradul înalt de generalizare, o fac aplicabilă în unități de profil din Ministerul Industriei Electrotehnice.

• În cadrul programelor de modernizare a sectoarelor calde a fost realizat de către Institutul de Cercetare Științifică și Inginerie Tehnologică pentru Sectoare Calde și Metalurgie un **agregat de formare cu manipulatoare** și aplicat la Întreprinderea Independența Sibiu. Agregatul se recomandă prin caracteristicile tehnice superioare celor similare executate de firme străine: forță de presare la formare, număr sporit de manipulatoare, putere instalată mai mică.

Totodată, efectele economice realizate permit generalizarea lui în unități cu sectoare calde (creșterea productivității cu peste 25%).

• Două realizări de ultimă noutate ale Centrului de Cercetare Științifică și Inginerie Tehnologică de Mașini pentru Industria Ușoară (CCSITMIU) reținatenția în vederea cunoașterii preocupărilor acestuia pentru modernizarea proceselor de producție din industria ușoară:

Este vorba, mai întîi, de **aparatul de vopsit cu jet la temperaturi înalte,** destinat vopsirii în bucată, în formă de șteang, a țesăturilor și tricoturilor din fire naturale, chimice și în amestec. Caracteristicile tehnice, superioare celor similare realizate pe plan mondial (temperatura de lucru 135 C°, capacitate de încărcare 240—320 kg etc.), precum și efectele economice ce le generează (creșterea productivității cu peste 50% la beneficiari, evitarea importului etc.) îl recomandă pentru folosirea sa pe scară largă în industria ușoară, contribuind în acest fel la rezolvarea unor acțiuni pe linia modernizării proceselor de producție în unități de profil din acest domeniu.

• Pe aceeași linie a modernizării proceselor de producție din unități de profil ale industriei ușoare se înscrie și **mașina de interțesere cu dublă acțiune.** Este un produs cu caracteristici tehnice superioare celor similare fabricate pe plan mondial, conceput tot la CCSIMIU.

Generalizarea lui în unități de profil din industria ușoară permite obținerea unor rezultate remarcabile în unități textile prin consolidarea

Scanned with OKEN Scanner

totală din două direcții a stratului fibros obținut prin cardare și preinterțesere.

Se remarcă această mașină prin caracteristicile sale tehnice: lățime de lucru 2 600 mm, grosimea maximă a materialului finit 5 . . . 5,5 mm, grosimea maximă a materialului alimentat 30 . . . 36 mm, precum și prin efectele economice ce se obțin la beneficiari: creșterea productivității cu peste 25% și îmbunătățirea calității produselor rezultate.

Din realizările institutelor ICTCM și ICSITPSCM

• **Proiectarea asistată de calculator a SDV-urilor.** Implementată la Întreprinderea Mecanică Mîrșa și Întreprinderea Tractorul Brașov, metoda se bazează pe un pachet de programe aplicative prin care se realizează proiectul de execuție (desen de ansamblu, desene de detaliu) pentru orice tipodimensiune din familia corespunzătoare de SDV-uri, furnizînd datele de intrare care caracterizează tipodimensiunea dorită. Prin utilizarea acestui procedeu productivitatea muncii proiectantului tehnolog crește de 2—10 ori și aduce economii de metal prin optimizarea proiectării.

• SIPES — **Sistem interactiv pentru proiectarea și executarea asistată de calculator a ștanțelor unicat.** Elaborat de ICTCM și aplicat la Întreprinderea Electroaparataj București, pachetul de programe reprezintă aplicația CAD—CAM și asigură descrierea formală a reperului de ștanțat, poziționarea automată a reperului (reperelor) și obținerea așezării optime, proiectarea automată a poansoanelor, determinarea (cotarea) schemei de lucru a ștanței și obținerea benzilor perforate pentru decuparea orificiilor active și poansoanelor pe o mașină de electroeroziune cu fir, cu comandă numerică ELEROFIL (produsă de Întreprinderea Electrotimiș Timișoara). Se obține în final pe plotter proiectul minimal al ștanței.

Sistemul se poate exploata pe minicalculatoare tip CORAL, INDEPENDENT, PDP 11/34 (40) sau echivalente și constituie o noutate pe plan național, înlocuind proiectarea tradițională.

• **Proiectarea asistată de calculator a planurilor de croire a tablelor.** Pachetul de programe, realizat la ICTCM, este conversațional, permițînd tehnologului-utilizator să obțină prin intermediul unui display grafic și al unui plotter planul de croire a tablelor pentru debitare, pe o mașină cu celulă fotoelectrică sau planul de croire pe o bandă perforată pentru debitarea pe o mașină cu comandă numerică.

Sistemul asigură creșterea productivității muncii tehnologului de 3—5 ori și o economie de material de 3—6% comparativ cu elaborarea manuală a planurilor de croire.

• **Modul de conducere programabilă pentru robocare inductive.** Proiectat și executat de ICTCM, modulul asigură programarea executării a 1 024 de secvențe de mișcare complete pentru robocare inductive. Secvențele de mișcare asigură operația completă de încărcare-descărcare. Modulul

Scanned with OKEN Scanner

permite programarea mișcărilor, precum și afișarea lor, fiind o noutate pe plan național, la nivelul performanțelor mondiale.

• **Mașină de prelucrat prin electroeroziune de mărime mijlocie ELER 03 SEM.** Proiectată și executată de ICTCM, ICPE, și IPA București, ca prototip, urmînd să intre în producția de serie la Întreprinderea Electrotimiș Timișoara, mașina este destinată prelucrării prin electroeroziune a materialelor dure și extradure, prin natura lor bune conducătoare de electricitate. Mașina, o noutate pe plan național, asigură creșterea productivității, prin înlocuirea sistemelor de avans electrohidraulic cu sisteme electromecanice, și creșterea preciziei de poziționare.

• **Tehnologie și instalație de protecție anticorosivă cu aluminiu prin metalizare cu arc electric.** S-a aplicat la elementele podurilor de la Feteşti și Cernavodă de peste Dunăre, constituind o noutate pe plan național. Această tehnologie realizează creșterea productivității de metalizare de 4 ori, creșterea aderenței depunerii de aluminiu de 2 ori și elimină consumul de butelii de acetilenă, înlocuind tehnologia de metalizare cu flacără oxiacetilenică.

• **Tehnologia de pasivare a depunerilor electrochimice de zinc cu rezistență mare la coroziune.** Tehnologia este elaborată de ICTCM și se aplică industrial la Întreprinderea Mecanică Brașov. Prin tehnologia de pasivare a depunerilor electrochimice de zinc se realizează finisarea produselor utilizate în domeniile de vîrf ale industriei, în scopul creșterii fiabilității și competitivității lor, precum și înlocuirea materialelor deficitare din import. Peliculele de finisare prezintă performanțe calitative foarte bune și rezistență mare la coroziune. Această tehnologie reprezintă o noutate pe plan național. Tehnologia de protecție prin zincare, urmată de pasivare, permite înlocuirea acoperirilor de cadmiu pasivate (cadmiul este produs deficitar, din import).

• **Linie automată de cuprare — nichelare — cromare neagră a pieselor componente din construcția mijloacelor de transport.** Proiectată de ICTCM și IPA—TC — București și executată de ISPM Oradea, linia asigură protecția prin cromare neagră a pieselor din oțel, oțel inox și zamac. Este dotată cu un automat programabil AP 101 care asigură realizarea simultană a 5 programe tehnologice, cu introducerea șarjei de piese corespunzătoare unuia dintre cele 5 programe (Cr negru pe OL inox, Cu-Ni-Cr negru pe zamac, Cu-Ni-Cr negru pe OLC, Ni-Cr negru pe alamă, Cu-Ni-Cr microfisurat pe zamac). Productivitatea crește cu cca 30% comparativ cu sistemele clasice de depunere.

• **Instalație pentru corodarea electrochimică a plăcilor din aluminiu.** Proiectată de ICTCM și executată de ITM București, instalația este destinată corodării electrochimice a plăcilor din aluminiu utilizate ca suporți pentru formele de tipar offset. Instalația este o noutate tehnică pe plan național, asigură dublarea productivității, și creșterea calității de imprimare a tiparelor. Prin acest procedeu se înlocuiește tehnologia manuală de corodare a plăcilor de aluminiu în tipografii.

Scanned with OKEN Scanner

II

CONCEPTE ȘI STRATEGII DE ÎNTRODUCERE A TEHNOLOGIILOR MODERNE

3

Efecte tehnice şi economice ale aplicării cercetării şi proiectării asistate de calculator

Dr. ing. *Şerban Săndulescu*
Institutul Naţional de Motoare Termice

1. Consideraţii generale

Utilizarea tehnicii de calcul în cele mai diverse domenii de activitate umană este una dintre laturile cele mai importante şi bogate în consecinţe ale actualei revoluţii ştiinţifice şi tehnice, materializată prin efecte spectaculoase pe multiple planuri (tehnic, economic şi organizatoric), care au impus schimbări de esenţă în structura domeniilor în care a fost aplicată.

Ne propunem să evaluăm impactul introducerii calculatorului numeric în activitatea de cercetare şi proiectare, cu referiri speciale la proiectarea din construcţia de maşini, pe baza analizei efectelor tehnice şi economice pe care le induce şi a condiţiilor care trebuie îndeplinite, atît circumscrise activităţii anume considerate, cît şi cele care se referă la cadrul mai larg al relaţiei concepţie-producţie-exploatare.

Pentru a putea sistematiza mai bine problema, vom raporta această analiză la diviziunea activităţii de cercetare şi proiectare asistată de calculator (CPAC) în cinci niveluri distincte, stabilite pe criterii ierarhice şi funcţionale [1], determinate de logica şi practica abordării şi desfăşurării oricărui proiect de oarecare anvergură, şi anume:

1) organizarea, urmărirea şi gestiunea proiectului pe baza programelor de tip PERT-TIME şi PERT-COST iar, în final, a analizei comportării produselor în exploatare prin metode statistice;

2) analiza proceselor şi dimensionarea subansamblelor cu ajutorul programelor de calculator;

3) desenarea automată;

4) execuţia de repere şi subansamble pe maşini cu comandă numerică (CN);

5) achiziţia şi prelucrarea automată a datelor experimentale.

Scanned with OKEN Scanner

Desigur, orice clasificare are un caracter relativ și poate fi organizată sau detaliată și de o altă manieră, cum o arată cîteva abordări similare [2, 3], față de care deosebirile sînt de natură formală, fapt care nu influențează scopul în sine sau concluziile acestei lucrări.

2. Efectele tehnice ale implementării cercetării și proiectării asistate de calculator

Aceste efecte vor fi analizate pentru fiecare dintre cele cinci niveluri CPAC definite mai înainte.

Nivelul 1. Programele de tip PERT-TIME și PERT-COST au o pondere importantă în organizarea și urmărirea desfășurării proiectului, respectiv în gestiunea sa, dar din punct de vedere tehnic nu îl influențează în mod direct, consecințele fiind mai mult de ordin economic.

În schimb, analiza statistică a comportării în exploatare a unui produs pune în evidență, alături de efectele economice, și importante efecte de ordin tehnic. Acest ultim aspect presupune crearea unei bănci de date pentru produsul considerat, în care se stochează anul de fabricație al fiecărui produs, seria unității respective, defecțiunile care apar, repartizate pe blocuri funcționale, numărul de ore de funcționare după care a apărut fiecare dintre defecțiuni, condițiile în care a fost făcută întreținerea, calitatea energiei electrice (frecvență, tensiune), sau a combustibililor și lubrifianților utilizați, eventuale date privind pregătirea și îndemînarea celor care l-au exploatat, condițiile în care a fost utilizată fiecare unitate etc. Această bancă de date trebuie ținută la zi pentru un număr cît mai mare de unități ale produsului considerat. Ea trebuie completată, dacă este posibil, și cu alte date corespunzătoare pentru produse similare străine.

Analiza statistică a acestor date pune la dispoziția proiectanților informații tehnice de prim ordin care, interpretate în mod corect, permit să se stabilească dacă, în limitele perioadei de exploatare pînă la reparația capitală, defecțiunile sînt determinate de erori sau slăbiciuni ale proiectului, ale producției sau ale condițiilor de exploatare. Ele pot fi utilizate la modernizarea produsului respectiv, cu efect asupra creșterii performanțelor sale și deci a competitivității acestuia. De asemenea constituie o sursă importantă de informații utile proiectării unor produse similare.

Această analiză statistică are deci următoarele avantaje tehnice: a) permite stabilirea deficiențelor produsului considerat, datorate proiectului, producției sau modului de exploatare și contribuie la îmbunătățirea produsului; b) furnizează date care ridică nivelul și cunoștințele proiectanților, fapt deosebit de util la abordarea unui nou proiect sau a unuia similar.

O astfel de analiză statistică a fost întreprinsă de Institutul Național de Motoare Termice (INMT) pentru motoarele Mybach utilizate la instalațiile de foraj, luîndu-se în considerare circa 840 de motoare [4]. Concluziile care au rezultat au fost deosebit de interesante, fiind utile atît pentru realizarea motorului MBM (Mybach modificat), în scopul creșterii competitivității sale într-un viitor apropiat și prelungirii fabricației sale,

Scanned with OKEN Scanner

cît și pentru proiectarea unei noi familii de motoare care urmează să îl înlocuiască în viitor.

Pentru realizarea unor produse competitive, pentru îmbunătățirea lor permanentă, pentru introducerea concluziilor care decurg din exploatare la realizarea unor noi proiecte și pentru înlăturarea unor deficiențe de proiectare, producție sau exploatare, este imperios necesară acordarea unei atenții deosebite ținerii evidenței defecțiunilor și a prelucrării statistice a informației respective, atît pentru produsele care merg la export, cît și pentru cele de uz intern.

Nivelul 2. Acesta este nivelul care are, din punct de vedere al CPAC, cea mai largă răspîndire și găsește cea mai mare audiență în institutele de cercetare-proiectare și inginerie tehnologică.

Analiza proceselor și dimensionarea subansamblelor cu ajutorul calculatorului numeric se efectuează în cadrul a trei etape, și anume: modelarea matematică a fenomenului sau procesului studiat; transpunerea modelului matematic într-un program de calcul numeric și aducerea acestuia în stare de produs-program finit; rularea programului cu date de intrare furnizate de procesul studiat și interpretarea rezultatelor obținute.

După cum este bine cunoscut, modelarea este una dintre cele mai fecunde metode folosite în cercetarea oricărui fenomen supus atenției noastre. Se admite existența a trei categorii de modele [5]:

a. *Modele materiale,* care au un înalt grad de similaritate cu modelatele.

b. *Modele formale,* care au un caracter pur simbolic, în care nu este reprezentată fizic nici o caracteristică a modelatului, iar asupra simbolurilor se operează numai prin mijlocirea unor discipline bine formate, ca matematica și logica.

c. *Modele simulante,* care descriu sisteme complexe, în care parțial pot fi reproduse fizic caracteristici ale modelatului, iar asupra simbolurilor se poate opera și cu alte mijloace care nu fac parte din discipline bine formate, ca matematica și logica.

Modelele simulante pot fi divizate, la rîndul lor, în alte două subcategorii [6]: c. 1) modele simulante închise, care sînt pur simbolice; c. 2) modele simulante deschise, în care parțial sînt reproduse fizic caracteristici ale modelatului.

Odată definite aceste elemente de bază, trebuie spus că acest nivel al CPAC operează practic numai cu modele din categoriile b și c, iar cele din categoria a, modelele materiale, își găsesc o largă aplicație în nivelul al treilea și al cincilea.

Practic, în toate institutele de cercetare-proiectare și inginerie tehnologică există realizări în acest domeniu. Pînă acum, ponderea cea mai mare a aplicațiilor pentru construcția de mașini, în cadrul acestui nivel al CPAC, au avut-o modelele formale, deoarece conceptul lor este mai apropiat de cel al cercetării și proiectării clasice, iar dezvoltarea programelor respective de calcul este și mai simplă.

Modelele simulante, închise sau deschise, sînt indicate în special pentru analiza proceselor mai complexe, deoarece ele permit o redare mult mai fidelă a acestora, ca urmare a conservării sau imitării caracterului lor dinamic.

Scanned with OKEN Scanner

Implementarea și utilizarea acestui nivel al CPAC are, din punct de vedere tehnic, următoarele două avantaje majore:

— în baza posibilităților deosebite de rezolvare pe care le oferă calculatorul numeric este posibilă o modelare mult mai exactă a fenomenelor, chiar dacă aceasta conduce la modele și respectiv algoritmi de mare complexitate, care nu pot fi soluționați prin metodele matematice clasice;

— calculatorul oferă posibilitatea rezolvării într-un timp relativ scurt a unui număr mare de variante, ceea ce dă posibilitatea optimizării soluției căutate.

Ca exemplu, pentru primul avantaj, vom indica metoda elementului finit, care permite calculul unor structuri complicate supuse la solicitări termice și mecanice complexe, cum ar fi chiulasa, biela, pistonul de la motoarele termice, sapa de foraj, structura unui avion, carcasa unei pompe etc. În fig. 3.1 este dat un exemplu de discretizare (împărțire în elemente) a unei secțiuni dintr-o chiulasă de motor cu piston, care dă o idee asupra imposibilității practice de a se rezolva sistemele de ecuații ale elasticității cu metode clasice (fig. 3.1).

Cel de-al doilea avantaj poate fi susținut, spre exemplu, de calculul termic al unui motor, care necesită în cazul utilizării unui algoritm relativ simplu, 2—3 ore de calcul obișnuit pentru o variantă.

Cu ajutorul unui program de calcul rulat pe un calculator de putere medie din generația a 3-a, în 30 minute de calculator pot fi calculate

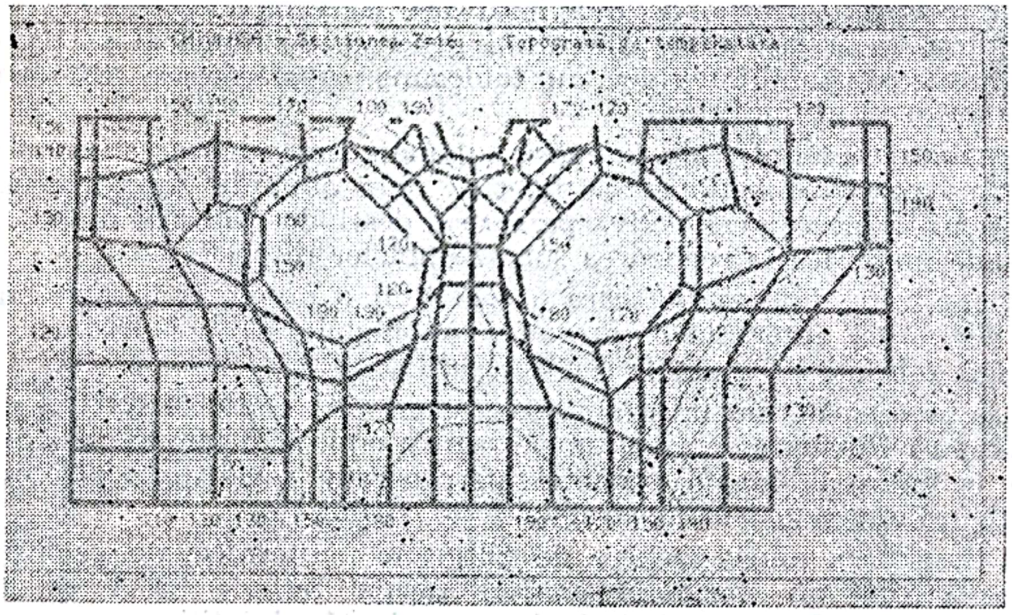


Fig. 3.1. Exemplu de discretizare a unei secțiuni prin chiulasa unui motor și topograma de temperatură determinată cu metoda elementului finit.

700—800 de variante și aleasă în același timp soluția optimă pe baza unor criterii stabilite în prealabil și introduse în program.

Utilizarea modelelor simulante permite imitarea caracterului dinamic al proceselor, dar și luarea în considerare a fenomenelor deosebit de complexe, ca și a factorului uman care intervine în procesul de comandă și decizie într-o anumită situație. Studiul performanțelor și evoluțiilor avio-

Scanned with OKEN Scanner

nului [7] este un exemplu de model simulant închis, iar cercetarea pe modelul funcțional al comenzilor de zbor al unui avion este un exemplu de model simulant deschis.

Rezultatele obținute în cazul simulării evoluțiilor avionului pe calculatorul CDC 3500 au pus în evidență apariția unor suprasolicitări ale ampenajului orizontal în primele 1—2 secunde după bracajul acestuia. Aceste concluzii au coincis cu rezultatele unor încercări în zbor făcute în străinătate în aceeași perioadă și care au condus la schimbarea regulamentelor de calcul ale comenzilor de zbor [7]. În fig. 3.2 sînt prezentate rezultatele obținute în cazul unui looping executat de un avion de viteză mare subsonică [7].

De asemenea, simularea rulării pe cale a automobilului de foarte mic litraj (AFML) utilizată la optimizarea cutiei de viteze, pornind de la programele dezvoltate în [7], constituie un alt exemplu în sprijinul utilizării modelelor simulante.

Nivelul 3. Desenarea automată este unul dintre nivelurile CPAC care s-a dezvoltat pe plan mondial cu deosebită rapiditate în ultimii zece ani.

Utilizarea acestui nivel al CPAC presupune dotarea sistemelor de calcul cu periferice specializate ca: display grafic interactiv, plotter, masă de trasaj etc. De asemenea este necesară dezvoltarea unor pachete de programe de grafică în stare să răspundă necesităților concrete.

În această direcție, dotarea hardware cu echipamente românești a întîmpinat în trecut unele dificultăți generate de numărul perifericelor disponibile și fiabilitatea lor nu totdeauna satisfăcătoare. Situația s-a îmbunătățit în ultimul timp.

Avantajele tehnice ale desenării automate sînt: realizarea unor desene de mare precizie; optimizarea folosirii unei anumite suprafețe pentru croirea unor piese; perspectiva pe care o deschide utilizării mașinilor cu comandă numerică la realizarea subansamblelor respective.

O aplicație interesantă care a constituit o premieră în țara noastră este desenarea automată a caroseriei automobilului de foarte mic litraj (AFML), folosind programele realizate la INCREST.

De asemenea vom menționa programele dezvoltate la ICTCM pentru desenarea reductoarelor, programele pentru croirea și tăierea tablelor utilizate în industria navală, pachetele de programe realizate la ITCI pentru beneficiari din industria constructoare de mașini etc.

Dezvoltarea unor pachete de programe puternice de grafică este în continuare un deziderat major, căruia trebuie să i se acorde o atenție deosebită. Schimbul de experiență și utilizarea resurselor existente în alte domenii ale economiei naționale în care există preocupări și realizări similare pot contribui la o accelerare a dezvoltării acestui nivel.

Nivelul 4. Realizarea pe mașini cu comanda numerică (CN) a subansamblelor modelelor funcționale, experimentale și ale prototipurilor are, din punct de vedere tehnic, avantajul asigurării unei precizii mari de execuție, completat cu o serie de alte avantaje economice deosebit de importante, după cum se va arăta mai departe.

Scanned with OKEN Scanner

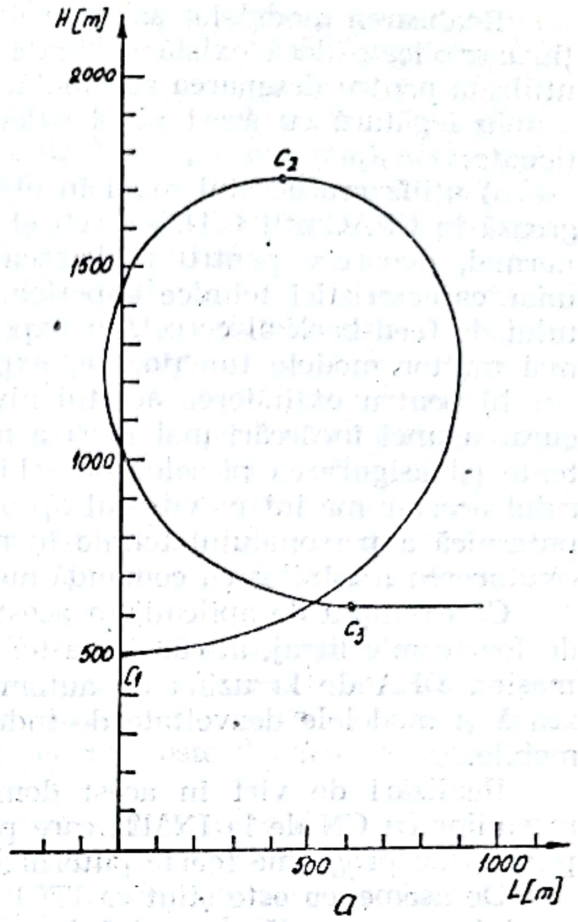
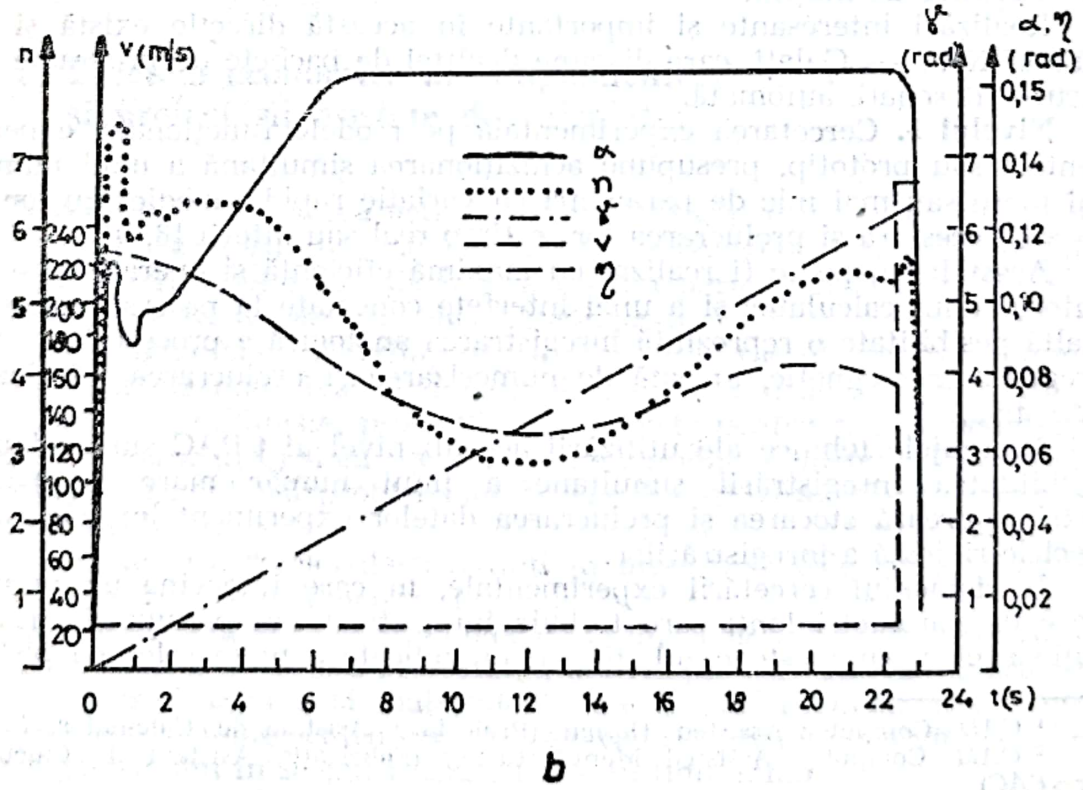


Fig. 3.2. Loopingul unui avion de viteză mare simulat pe calculatorul CDC-3500:

a — traectoria descrisă de avion; *b* — variația vitezei de zbor v, factorului de sarcină n, unghiului de incidență al avionului α, pantei traiectoriei γ și bracajului ampenajului orizontal η la executarea loopingului.



Realizarea modelelor sau pieselor respective pune probleme mai puțin complicate dacă există o bandă perforată sau magnetică care a fost utilizată pentru desenarea automată.

În legătură cu acest nivel există două observații care trebuie menționate:

a) utilizarea acestui nivel în etapa de realizare a unui prototip integrează în CPAC atît *CAD*[1]-ul, cît și *CAM*[2]-ul, ceea ce considerăm că este normal, deoarece pentru realizarea în condiții economice favorabile a unor caracteristici tehnice superioare este obligatorie considerarea efectului de feed-back al cercetării experimentale, ceea ce impune realizarea mai multor modele funcționale, experimentale și prototipuri;

b) pentru extinderea acestui nivel este necesar, în primul rînd, asigurarea unei încărcări mai mari a mașinilor cu comandă numerică existente (și asigurarea pieselor de schimb necesare), ca și creșterea numărului acestor mașini în viitorul apropiat, care să fie însoțită de creșterea puternică a personalului tehnic în măsură să realizeze programe pentru conducerea mașinilor cu comandă numerică.

Ca exemplu de aplicații în acest domeniu vom reveni la automobilul de foarte mic litraj, al cărui master model de la INMT a fost realizat pe mașina DEA de la uzina de automobile din Cîmpulung, unde se realizează și modelele dezvoltate de industria noastră constructoare de automobile.

Realizări de vîrf în acest domeniu are colectivul de programarea mașinilor cu CN de la INMT, care pe lîngă o dotare corespunzătoare dispune și de programe foarte puternice.

De asemenea este știut că ITCI a realizat o serie de programe pentru mașini cu comandă numerică la cererea unor beneficiari din domeniul construcțiilor de mașini.

Realizări interesante și importante în această direcție există și la ICEPRONAV — Galați, care dispune dealtfel de pachete de programe de calcul și desenare automată.

Nivelul 5. Cercetarea experimentală pe modele funcționale, experimentale sau prototip, presupune achiziționarea simultană a unui număr mai mare sau mai mic de parametri cu variație rapidă, medie sau lentă, stocarea acestora și prelucrarea lor în timp real sau diferit [8, 9].

Acest lucru poate fi realizat cu maximă eficiență și operativitate cu ajutorul unui calculator și a unei interfețe conectate la procesul studiat. O altă posibilitate o reprezintă înregistrarea analogică a procesului pe un înregistrator magnetic, urmată de numerizarea și prelucrarea ulterioară a acesteia.

Avantajele tehnice ale utilizării acestui nivel al CPAC sînt: asigură posibilitatea înregistrării simultane a unui număr mare de parametri; ușurează stocarea și prelucrarea datelor experimentale; asigură o precizie ridicată a înregistrărilor.

În domeniul cercetării experimentale, în care intervine un număr mare de parametri lenți care trebuie înregistrați sau parametri cu variație rapidă, cum este cazul diagramei indicate a motoarelor cu piston

---

[1] *CAD*=Computer Assisted Design (Proiectare Asistată de Calculator=*PAC*)

[2] *CAM*=Computer Assisted Manufacturing (Fabricație Asistată de Calculator=*FAC*)

Scanned with OKEN Scanner

sau a caracteristicilor sistemului de injecție, avantajele de ordin tehnic ale achiziției asistate de calculator, ca și de cele ale stocării și prelucrării ulterioare, sînt deosebit de importante.

Pornind de la aceste necesități, la INMT au fost dezvoltate sisteme de achiziție rapidă (timp de eșantionare de 20 μs pe un canal), sisteme de achiziție lentă (timp de eșantionare 10 ms pe un canal), ca și interfațarea microcalculatorului M.118 pentru achiziția datelor experimentale cu timp de eșantionare mediu de 80—100 μs pe canal.

De asemenea vom menționa în domeniul cercetării experimentale aeronautice instalațiile de achiziție și prelucrare a datelor experimentale procurate din import, de la sufleriile aerodinamice, de la instalația de încercări structuri și, în mod special, cea de la centrul de încercări în zbor prevăzută cu căi alternative de înregistrare și prelucrare (înregistrare în zbor și prelucrări la sol, teletransmisie on line sau off line etc.).

În ultimul timp, la INMT, în paralel cu sistemele de achiziție de date, au început să fie realizate, în colaborare cu ITCI, și sisteme de conducere de procese, utilizate la realizarea unor probe de anduranță, de depoluare etc.

Trebuie observat însă, că cele mai multe instalații experimentale din țară au sisteme clasice de înregistrare analogică, că de cele mai multe ori citirile se fac de către experimentatori sau prin fotografierea ecranului unui osciloscop și că precizia acestor sisteme este departe de cerințele și nivelul actual.

De aceea se impune o modernizare rapidă în toate domeniile activității experimentale din construcția de mașini, aceasta cu atît mai mult, cu cît la ora actuală astfel de instalații de automatizare produce chiar industria noastră de automatizare și tehnică de calcul.

3. Efectele economice ale implementării cercetării și proiectării asistate de calculator

Nivelul 1. Organizarea acțiunii de cercetare și proiectare asistată de calculator cu ajutorul programelor de tip PERT-TIME și PERT-COST presupune o activitate inițială laborioasă din partea colectivului de concepție al proiectului, care trebuie să stabilească:

a) lista detaliată a activităților care concură la realizarea proiectului;

b) resursele materiale și umane alocate fiecărei activități;

c) duratele optimiste, probabile și pesimiste pentru fiecare activitate, în acord cu punctul b) și cu pregătirea și experiența oamenilor disponibili, dificultatea și noutatea problemelor de rezolvat și, respectiv, tehnicitatea dotărilor utilizate;

d) arhitectura rețelei de activități în măsură să asigure un flux de proiectare și realizare eficient și rațional.

Rapoartele editate de cele două programe menționate stabilesc desfășurarea optimă în timp a proiectului, activitățile care se află pe drumul critic, resursele umane și materialele necesare la un moment dat etc. fiind de un real folos pentru organizarea, coordonarea și urmărirea desfășurării proiectului în scopul realizării sale în timp minim.

Scanned with OKEN Scanner

Principalele avantaje economice ale utilizării acestor programe în cadrul primului nivel sînt: reducerea ciclului de cercetare—proiectare—realizare—omologare a prototipului; reducerea costului întregului ciclu: cunoașterea de la început a resurselor umane și materiale necesare realizării proiectului respectiv, în fiecare din etapele sale.

Pentru punerea în valoare a acestor avantaje este necesară o aplicare strictă a programelor de tip PERT-TIME și PERT-COST, dar și consacrarea exclusivă a mijloacelor materiale și umane scopului inițial propus.

În cazul proiectării avionului IAR-93 a fost utilizată, pentru prima dată la noi în țară în domeniul construcției de mașini, o variantă IBM a programului PERT-TIME, ceea ce a dus la realizarea prototipului unui produs de înaltă tehnicitate și complexitate într-un timp record: patru ani și jumătate.

Nu există prea multe asemenea exemple, situație care se poate remedia prin extinderea aplicării acestei metode la toate produsele care necesită un volum mare de lucru și au o complexitate mai mare (motoare, automobile, nave etc.).

Alături de avantajele tehnice ale analizei statistice a datelor din exploatare se adaugă următoarele avantaje economice:

— permite stabilirea din timp a necesarului de piese de schimb în diferitele etape de exploatare ale unui produs;

— definește ponderea diferitelor capitole (cheltuieli de întreținere, consumuri de combustibil și lubrifianți etc.) ale cheltuielilor care apar în exploatarea unui produs, permițînd luarea măsurilor impuse de necesitatea scăderii acestora.

Primul avantaj este deosebit de important pentru competitivitatea produsului, deoarece permite stabilirea condițiilor necesare unui service de calitate și a unor timpi minimi de imobilizare a produsului în cazul apariției unei defecțiuni.

Celălalt avantaj este important pentru măsura pe care o dă direcției de modernizare a produsului în vederea creșterii competitivității sale.

Acestea sînt motive suficient de puternice, alături de cele tehnice, pentru a acorda o atenție mult mai mare analizei statistice a datelor privind comportarea în exploatare a produselor.

Nivelul 2. În completarea celor două avantaje tehnice arătate mai înainte la nivelul 2, considerăm că trebuie adăugate următoarele trei avantaje economice: permite reducerea costului proiectării unui reper; conduce la scurtarea ciclului de proiectare—cercetare al unui reper sau produs; conduce la micșorarea greutății reperelor, deci a consumului de material și energie.

Primul avantaj se datorește refolosirii programelor de calcul care, dacă sînt bine concepute, permit acoperirea unei game largi de aplicații.

Cel de-al doilea avantaj economic decurge din faptul că o analiză structurală temeinică efectuată în faza de proiectare, prin utilizarea programelor de calcul, reduce simțitor plaja soluțiilor ce trebuie încercate în faza de cercetare experimentală, ceea ce înseamnă: economie de mînă de lucru și materiale necesare confecționării unui număr mai mare de repere ce urmează a fi cercetate, reducerea timpului de experimentare și, în final, reducerea timpului de realizare a prototipului.

Scanned with OKEN Scanner

Spre exemplu, ciclul de proiectare, realizare și cercetare a unei chiulase pentru un motor de putere mare este de circa 8 luni, cu un consum mare de manoperă și material și timpi însemnați de utilizare a unor mașini-unelte de înaltă tehnicitate.

Analiza stării de tensiuni și de deformații prin metoda elementului finit în faza de proiectare este în măsură să înlăture necesitatea unei eventuale reproiectări a chiulasei, care poate surveni ca urmare a unor rezultate nesatisfăcătoare ce apar în faza de cercetare experimentală pe model funcțional sau experimental.

De aceea este necesară utilizarea resurselor pe care le oferă acest nivel al CPAC la toate reperele care alcătuiesc un produs.

Nivelul 3. Principalele avantaje economice ale desenării automate, alături de cele tehnice menționate anterior, sînt: scăderea costului realizării desenului de execuție în raport cu desenarea manuală; asigurarea implementării rapide și mai ieftine a prelucrării pe mașini cu CN; micșorarea consumului de material și energie prin optimizarea croirii unor piese dintr-un material de suprafață dată.

Celelalte avantaje sînt evidente în baza precizărilor de la § 2, nivelul 3.

Nivelul 4. Din cele arătate în §2 pentru nivelul 4 rezultă principalele avantaje economice ale utilizării mașinilor cu CN: reduce timpul de realizare a unui reper și manopera necesară; reduce rebuturile, care sînt frecvente mai ales în cazul unui prototip.

Revenind la exemplul master-modelului automobilului de foarte mic litraj, trebuie spus că acesta a fost realizat în trei săptămîni, în timp ce confecționarea lui manuală ar fi necesitat circa 6 luni de lucru pentru 2—3 modelieri de înaltă calificare.

Desigur, utilizarea mașinilor cu CN presupune o investiție inițială importantă, justificată în opinia noastră prin efectele tehnice și economice pe care le are.

Nivelul 5. Utilizarea sistemelor automate de achiziție și prelucrare a datelor experimentale, alături de avantajele tehnice prezentate în § 2 la nivelul 5, aduce după sine reducerea timpului necesar experimentării și deci reducerea consumului de energie electrică și, respectiv, combustibili și lubrifianți în cazul motoarelor termice.

Aceste economii nu sînt deloc neglijabile, ținînd seama, spre exemplu, că o suflerie aerodinamică cu flux continuu are o putere instalată care poate merge de la cîteva sute de kilovați la cîteva zeci de mii de kilovați, iar motoarele termice de mare putere au un consum orar de ordinul sutelor de litri de combustibili.

4. Măsuri necesare extinderii implementării CPAC și exploatării efectelor tehnice și economice ale acesteia

Utilizarea CPAC impune asigurarea unor condiții inițiale mult mai dificile decît cele cerute de cercetarea și proiectarea făcută cu mijloace clasice, deoarece:

Scanned with OKEN Scanner

1) solicită utilizarea unui personal tehnic avînd o dublă specializare, atît corespunzătoare specificului problematicii pe care trebuie s-o rezolve, cît și cunoștințe temeinice de programare și analiză numerică;

2) necesită o dotare hardware acordată cu întinderea și dificultatea produsului care trebuie proiectat, cercetat și realizat, respectiv cu nivelurile CPAC ce vor fi utilizate;

3) presupune asigurarea software-lui de bază, matematic și aplicativ, în măsură să permită dezvoltarea acelor programe specifice proiectului considerat.

Investiția inițială necesară creării acestor condiții pentru CPAC este justificată de avantajele tehnice și economice arătate mai înainte, care conduc la creșterea nivelului tehnic al produsului și, respectiv, la micșorarea costului de producție, condiții absolut necesare pentru creșterea competitivității produsului de serie realizat.

Pentru a atinge acest țel, eforturile care urmează a fi făcute în domeniul CPAC trebuie orientate cu precădere, în opinia noastră, către realizarea următoarelor obiective principale:

a) creșterea și omogenizarea dotării institutelor și întreprinderilor cu tehnica de calcul necesară dezvoltării tuturor nivelurilor CPAC;

b) specializarea majorității cadrelor cu pregătire superioară și chiar medie în domeniul programării și prelucrării automate a datelor;

c) finanțarea și creșterea ponderii acordate dezvoltării de software, general sau aplicativ, în cadrul programelor de proiectare și cercetare a unor produse;

d) realizarea unor biblioteci de programe pe domenii, dotate cu manuale de utilizare clare și ușor accesibile, și editarea unor cărți care să conțină lista tuturor programelor cu explicații succinte;

e) introducerea obligativității utilizării acestor programe în activitatea de cercetare și proiectare;

f) legarea celor cinci niveluri ale CPAC pentru a asigura transferul direct al informației de la un nivel la altul.

Atingerea acestor obiective nu se poate realiza de pe o zi pe alta. Este necesar, în primul rînd, o schimbare a concepției întregului personal, atît la nivelul institutelor de proiectare, cît și al uzinelor în scopul extinderii CPAC.

Nu avem pretenția de a fi epuizat în cadrul acestei succinte prezentări întreaga problematică a implementării și utilizării CPAC în domeniul construcțiilor de mașini din țara noastră. Este evident că în spațiul pe care l-am avut la dispoziție nu am putut să ne referim decît la o parte din aplicațiile realizate la noi.

Ceea ce este sigur este faptul că în momentul de față există un decalaj între nivelul cercetării și proiectării din domeniul construcțiilor de mașini de la noi și cel atins în țările industrializate, unde există ramuri (aviație, electronică, automobile, turbine de mare putere etc.) în care cercetarea și proiectarea sînt integral computerizate.

De aceea sperăm că această scurtă expunere își va aduce o modestă contribuție la eforturile deosebite care trebuie depuse în direcția promovării CPAC.

Scanned with OKEN Scanner

BIBLIOGRAFIE

1. SĂNDULESCU, S. *Structura cercetării și proiectării asistate de calculator (CPAC), privită în contextul proiectării de avioane, motoare termice și automobile din R.S.R.* În: Construcția de mașini, nr. 10, 1986.
2. CHAIEN, S. H. *Historical Highlights of Interactive Computer Graphics.* În: Mechanical Engineering, November, 1980.
3. LERRO, P. J. *CAD/CAM systems: today and tomorrow.* În: Design News, nr. 4, 1982.
4. SĂNDULESCU, S., TOTHEZAN, P., CAZIMIROVICI, E., TOTHEZAN, SORINA. *Analiza fiabilității motoarelor termice și efectul de feed-back al datelor din exploatare în activitatea de concepție.* În: Construcția de mașini, nr. 1, ianuarie, 1987.
5. SAYRE, K.. M și CROSSON, F. J. *The Modelling of Mind: Computers and Intelligence.* Simon and Schuster, New York, 1963.
6. SĂNDULESCU, S. *Reflectarea conceptului de modelare în evoluția gîndirii tehnice și cercetării științifice aeronautice.* În: Construcția de mașini, nr. 8, august 1981.
7. SĂNDULESCU, S. și CIUPERCĂ, C. *Mișcarea solidului în mediu rezistent. Modelarea pe calculatorul numeric cu aplicații în aeronautică,* București, Editura Tehnică, 1976.
8. SĂNDULESCU, S. ș.a. *Metoda de achiziție și prelucrare numerică a parametrilor cu variație rapidă la motoarele cu ardere internă.* În: Construcția de mașini, nr. 4, aprilie, 1982.
9. BALTAC, V și DAVIDOVICIU A. *Cercetarea și proiectarea asistată de calculator în industria construcțiilor de mașini, electrotehnică și electronică.* București, Editura Academiei R.S.R., 1987.

Scanned with OKEN Scanner

4

Corelaţii de sistem reflectate în proiectul de organizare a proceselor de producţie

Dr. ing. *Sorin Ciurea*
Institutul Politehnic Bucureşti

Dezvoltarea economică intensivă nu este posibilă fără un efort organizatoric deosebit. Se desprind cîteva cerinţe cărora le revine un accent deosebit pentru perfecţionarea modului de soluţionare a problemelor tehnice-tehnologice ale proceselor de producţie, dintre care, avînd în vedere implicaţiile economice şi organizatorice, se remarcă:

— creşterea complexităţii constructive a noilor produse, a proceselor de producţie şi a rolului crescînd al cadrului general, de sistem, la nivelul întreprinderii a unor probleme privind perfecţionarea mecanismului economic-financiar, autogestiunea, autoconducerea muncitorească;

— introducerea şi generalizarea progresului tehnico-ştiinţific, mai ales a transformărilor impuse de electronizarea, robotizarea, automatizarea producţiei;

— reducerea duratelor de asimilare a noilor produse şi tehnologii;

— asigurarea competitivităţii pe piaţa externă a noilor produse;

— creşterea diversităţii produselor corespunzător cerinţelor unei sfere largi de beneficiari;

— sporirea preocupărilor pentru optimizări ale proceselor de producţie;

— creşterea productivităţii muncii;

— gospodărirea cu maximă eficienţă a materiilor prime, materialelor şi energiei;

— preocuparea de a asigura încadrarea în indicatorii de eficienţă economică, ca un corolar al întregii activităţi desfăşurate.

În urmă cu cîţiva ani, elaborarea proiectului de organizare a proceselor de producţie se întîlnea în practica unor lucrări de mare anvergură — de regulă, în cele de investiţii — care necesitau importante resurse materiale sau coordonarea eforturilor unui număr mare de participanţi. Importanţa actuală deosebită acordată problematicii organizatorice determină mutarea centrului de greutate pentru soluţionarea cerinţelor amintite în etapele de cercetare ştiinţifică şi inginerie tehnologică.

În Legea nr. 5 din 1985, privind creşterea productivităţii muncii, perfecţionarea organizării şi normării producţiei şi a muncii [5], se prevede că: „organizarea producţiei şi a muncii se va asigura încă din faza de proiectare. O dată cu proiectarea noilor obiective de investiţii sau de dezvoltare şi modernizare a celor existente, a proceselor de fabricaţie, a produ-

Scanned with OKEN Scanner

selor noi sau modernizate se va elabora și proiectul de organizare a producției și a muncii. Ministerele, organele centrale și locale, centralele, întreprinderile, unitățile de cercetare științifică, inginerie tehnologică și proiectare sînt obligate să asigure perfecționarea permanentă a organizării producției și a muncii, corespunzător celor mai moderne metode utilizate în țară și pe plan mondial, să elaboreze și să aplice unitar, în toate ramurile și sectoarele de activitate, proiecte de organizare a producției și a muncii." Actul normativ amintit definește succint unele elemente de conținut ale acestui proiect.

Dintre preocupările recente de a fundamenta abordarea științifică a organizării întreprinderilor, sub forma unor proiecte adecvate, se menționează lucrarea lui Gh. Boldur [1]. Autorul utilizează o paletă largă de modele descriptive și normative, metode ale cercetării operaționale, cu o profundă concepție sistemică, în special în sfera aspectelor economice, decizionale, delimitînd într-o viziune proprie structura generală a proiectelor și metodologia de aplicare. Acestea, se propune, să constituie obiect curent al activității unui compartiment din întreprindere. Caracterul teoretic al lucrării este incontestabil valoros prin sinteza aplicativă a cercetărilor operaționale și a deciziilor multicriteriale pentru un ansamblu larg de probleme specifice de organizare a proceselor de producție și a muncii.

Exemple ale unor întreprinderi din țări dezvoltate industrial, în cazul produselor și tehnologiilor care au avut succes pe piață, arată importanța deosebită acordată detalierii și aprofundării amănunțite a aspectelor organizatorice. Devine tot mai importantă înțelegerea rolului întreprinderii ca unitate economică fundamentală de producție, care trebuie să-și soluționeze singură problemele cu care este confruntată în raporturile sale cu mediul economic-social, iar acolo unde nu este în măsură să le soluționeze, întreprinderea va apela la unități specializate (cum sînt cele de cercetare științifică și inginerie tehnologică, de comerț etc.). Evident, întregul proces se înscrie în coordonatele generale ale dezvoltării economice planificate la nivel macroeconomic și trebuie să conducă la o eficiență maximă în fiecare unitate și la scara întregii economii naționale.

1. Informații principale pe baza cărora se elaborează proiectul de organizare

Organizarea unui proces de producție se fundamentează pe un volum de informații aprioric complet definitoare ale desfășurării producției, perturbațiilor previzibile în modificările în timp și în spațiu ale raporturilor întreprinderii, produselor și tehnologiilor sale cu sistemul economic în cadrul cărora aparțin.

În fig. 4.1. este reprezentată schematic implicarea de sistem a structurii generale a acestui proiect în raport cu ansamblul informațiilor, pe de o parte cu „intrările" de fundamentare și, pe de altă parte, a indicatorilor finalității activității desfășurate. O serie de corelații reciproce, mai ales între capitolele proiectului, vor fi prezentate în text fără a le reprezenta, pentru a nu complica prea mult această schemă și a-i îngreuna înțelegerea.

Scanned with OKEN Scanner

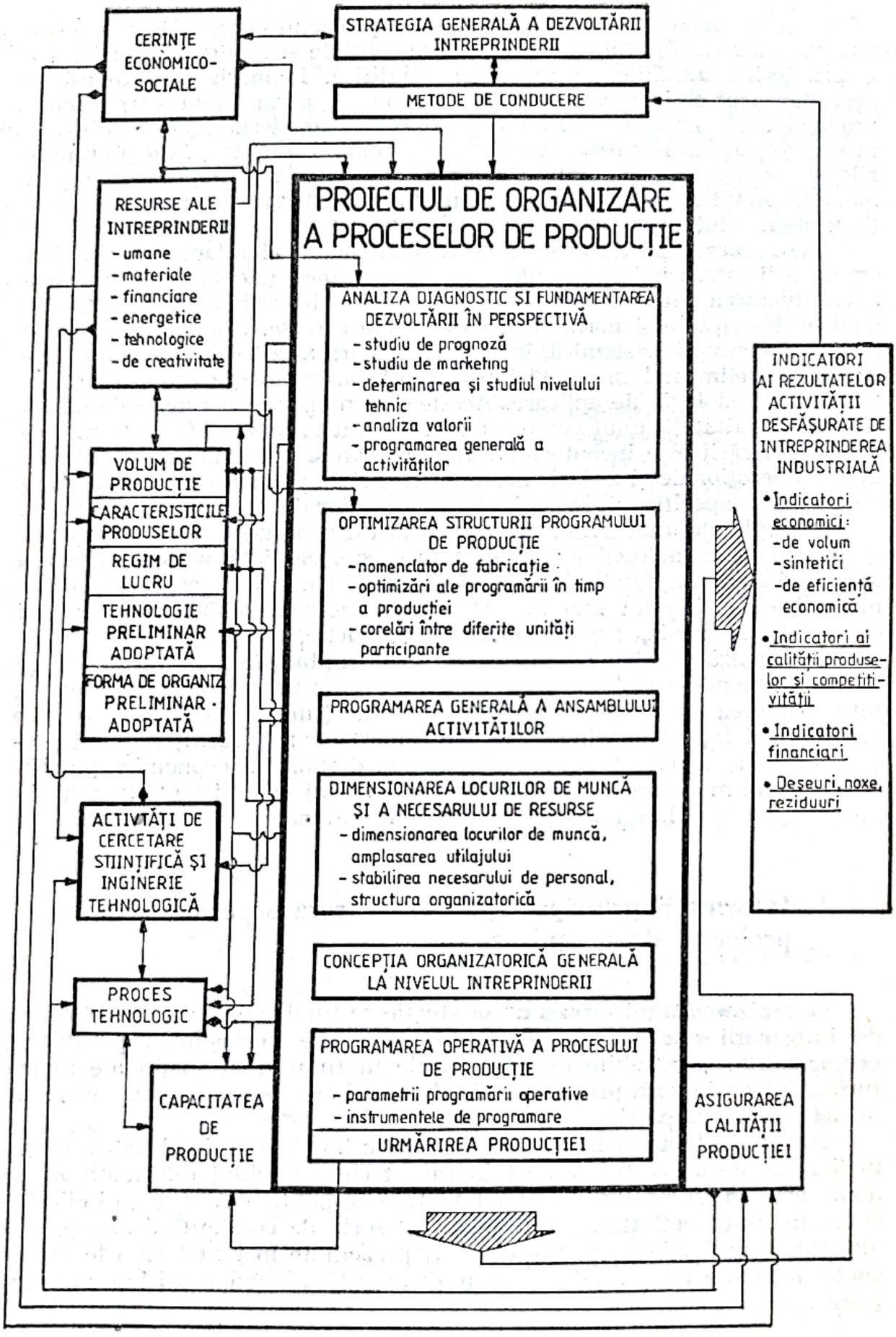


Fig. 4.1.

Scanned with OKEN Scanner

a. Cerințele mediului economico-social sînt formulate fie sub forma unor sarcini de ordin general (spre exemplu: de a asigura economisirea materiilor prime, materialelor, energiei; creșterea eficienței economice a activității desfășurate; sporirea penetrării produselor pe piața externă ș.a.), fie sub forma unor cerințe specifice produselor sau tehnologiei care constituie obiectul proiectului de organizare. Măsura în care cerințele respective sînt avute în vedere se transpune în calitatea și competitivitatea produselor sau tehnologiilor. Nu este suficientă conformitatea cu aceste cerințe la un moment dat, ci este necesară asigurarea concordanței cu permanenta evoluție pe plan mondial.

b. Proiectul de organizare a proceselor de producție trebuie să țină seama de transpunerea unor obiective (sarcini) ale conducerii întreprinderii și să se integreze în strategia generală de dezvoltare a întreprinderii. Comandamente fundamentale stabilite prin hotărîri de partid și prin acte normative, sarcini ale dezvoltării pe termen lung și mediu ale ramurii industriale sau ale întreprinderii constituie elemente de orientare a concepției generale a proiectului.

Organizarea, ca atribut al conducerii, este necesar să asigure mobilizarea factorilor procesului de producție astfel încît activitățile desfășurate să corespundă cît mai bine cerințelor mediului economico-social și indicatorilor de eficiență. În totalitatea sa și prin specificul fiecărui capitol, a fiecărui aspect de detaliu, proiectul de organizare a proceselor de producție trebuie să se transpună pozitiv în indicatorii rezultatelor activității desfășurate în întreprinderea respectivă. Corecții pe durata desfășurării sînt aduse prin intermediul metodelor de conducere. Detalierea, aprofundarea și eficiența proiectului de organizare depind în bună măsură de formularea de către cadrele de conducere a obiectivelor principale, a concepției strategice de dezvoltare a unității economice și a produselor executate. O foarte bună organizare nu poate suplini erori ale conducerii.

c. Se impune a fi avute strict în considerare resursele de care dispune întreprinderea. Se evidențiază: resursele umane (numeric, ca structură profesională, pe grupe de vîrstă, sexe etc.); resursele materiale (stocuri de materii prime, materiale disponibile); resursele financiare; resursele energetice; resursele tehnologice (proiecte de inginerie tehnologică); resursele de creativitate (brevete de invenții, licențe, contracte de know-how etc.).

Resursele trebuie ca, pe de o parte, să fie în concordanță cu cerințele economico-sociale și, pe de altă parte, în mod esențial, trebuie să fie cît mai bine valorificate. Se accentuează tot mai mult creșterea rolului organizării asigurării tuturor resurselor necesare desfășurării proceselor de producție în așa fel încît perturbațiile care pot apărea să fie minime și să nu lezeze ritmicitatea și continuitatea producției. Flexibilitatea, atît constructivă, tehnologică cît și cea organizatorică în multe cazuri este determinată de criteriul resurselor disponibile.

Se constată preocupări sporite de formare a resurselor umane, de cadre de specialitate, și de orientare în favoarea sporirii creativității pentru valorificarea produselor inteligenței în scopul reducerii sau suplinirii resurselor materiale, energetice, financiare. Situații ale unor întreprinderi care funcționează practic fără stocuri de materiale se explică numai în

Scanned with OKEN Scanner

condițiile unei riguroase organizări interne a lor și unor relații de cooperare foarte bine definite.

d. Un grupaj al informațiilor specifice, corespunzător produselor sau tehnologiilor care constituie obiect al organizării proceselor de producție, cuprinde:

— Volumul de producție și dinamica sa.

— Caracteristicile produselor care se vor executa (în această privință avem de-a face cu un sistem amplu de indicatori format din caracteristicile tehnice, funcționale, economice, estetice, ergonomice ș.a., fiecare, la rîndul lor, explicitate cu o serie de indicatori specifici). Se menționează utilitatea deosebită a cunoașterii de către întreprindere nu numai a caracteristicilor produselor pe care le execută sau le va executa, ci și ale unora dintre produsele similare, de referință, existente pe plan mondial. Aceasta este o condiție necesară pentru a asigura calitatea și competitivitatea produselor executate. De o reală importanță — mai ales la nivelul unităților de cercetare științifică — sînt structurarea informațiilor în baze de date anume constituite și cunoașterea sistemului de relații de legătură între caracteristici (în special între caracteristicile tehnice și cele economice). Cu ajutorul acestora se poate mai bine fundamenta decizia de perfecționare a unei caracteristici sau alteia, precum și studia modul de variație a caracteristicilor produselor complexe pe durata utilizării lor la beneficiari [3, pag. 93—103 și 132—160].

— Regimul de lucru, conținînd pentru fiecare loc de muncă și utilaj numărul de zile lucrătoare, numărul de schimburi pe zi, de ore într-un schimb, intervalul de timp alocat reparațiilor utilajelor etc.

— Procesul tehnologic adoptat preliminar.

— Forma de organizare adoptată preliminar.

Toate acestea au un caracter dinamic și între ele există o serie de corelări reciproce, studiul cărora este deosebit de util în cadrul proiectului de organizare. Spre exemplu: între caracteristicile produselor și volumul de producție, între volumul de producție și procesul tehnologic preliminar adoptat, între ansamblul cerințelor economico-sociale, resursele disponibile și grupajul volumului de producție, caracteristicile produselor, regimul de lucru există o serie de legături reciproce extrem de utile pentru a fundamenta deciziile de asimilare, de dezvoltare a producției, de diversificare și modernizare, de stabilire a tematicii de cercetare științifică și inginerie tehnologică, în procesul de promovare a progresului tehnic.

În mod aparte trebuie menționat rolul hotărîtor pe care îl are procesul tehnologic. Definirea și optimizarea prealabilă a procesului tehnologic constituie o legitate a organizării proceselor de producție. Fondul tehnic, al informațiilor de specialitate privind procesul tehnologic, trebuie să fie complet definitivat, chiar dacă se revine asupra sa pe baza unor criterii de natură economică sau organizatorică.

2. Indicatori ai finalității activității productive

Indicatorii rezultatelor activității întreprinse se pot grupa în indicatori economici, ai calității produselor și competitivității, financiari, ecologici (ai raportului întreprinderii cu mediul înconjurător).

Scanned with OKEN Scanner

a. Indicatorii economici sînt:

— de volum (spre exemplu: producția fizică, valorile producției marfă, producției globale, producției nete);

— sintetici (spre exemplu: valoarea productivității muncii calculată pe baza producției nete; costul produsului — indicator de o deosebită importanță, cu pregnant caracter sintetic, reflectînd din punct de vedere economic toate transformările cantitative și calitative ale produselor);

— de eficiență, care caracterizează corelarea între efortul făcut pentru asimilarea noilor produse sau procedee tehnologice, pentru modernizări ale acestora și efectele economice obținute (la nivelul întreprinderii și al beneficiarilor produselor). În această categorie se exemplifică coeficientul de eficiență a investițiilor, termenul de recuperare.

b. Indicatori ai calității produselor și competitivității, categorie în care se au în vedere indicatorii nivelului tehnic al produselor (nivelul tehnic absolut, relativ, real). Pe baza lor se apreciază, comparativ cu produse sau tehnologii de referință existente pe plan mondial, finalitatea social-economică a întregii activități desfășurate, concordanța cu evoluțiile cerințelor beneficiarilor și cu dinamica progresului tehnico-științific [3].

c. Indicatorii financiari — surprind latura efortului financiar a activității desfășurate în întreprindere. Se menționează în acest sens volumul de mijloace circulante, viteza de rotație a mijloacelor circulante ș.a.

d. Indicatorii ecologici ai raportului întreprinderii, sau a produselor executate, cu mediul înconjurător. Cu ajutorul acestora, prin cantitățile de deșeuri, noxe, reziduuri rezultate, care sînt comparate cu normele admise, se apreciază calitatea proceselor de producție, respectiv a produselor executate.

Indicatorii amintiți vor fi completați, dacă este cazul, și cu alții, dar este necesar ca pentru studiul variantelor de proiectare, pentru optimizarea și analiza proceselor de producție să fie abordați ei înșiși într-o corelație de sistem. Nu este posibilă exagerarea rolului unui indicator (mai ales a celor cu caracter sintetic) în defavoarea altora. Spre exemplu, realizarea unor produse „de înalt nivel tehnic", dar care nu sînt eficiente economic nu caracterizează o activitate pozitivă. Pe baza sistemului indicatorilor menționați există posibilitatea efectuării unor analize „din interior" ale procesului de producție, de asemenea de a orienta transformările organizatorice și tehnologice ale raporturilor întreprinderii față de sarcinile care îi revin în cadrul centralei industriale, ministerului, economiei naționale și ale raporturilor ecologice cu mediul înconjurător.

3. Principale corelații în cadrul proiectului de organizare a producției și a muncii

Un capitol al proiectului este destinat analizei diagnostic și fundamentării dezvoltării de perspectivă (pentru produsele sau tehnologiile asimilate). Utilizînd un ansamblu de instrumente de lucru format din: stu-

Scanned with OKEN Scanner

dii de prognoză, de marketing*, determinarea și studiul nivelului tehnic, analiza valorii, programarea generală a activităților, se urmărește să se studieze în detaliu cerințele social-economice și întreaga activitate de concepție și de producție să se desfășoare în conformitate cu acestea.

Se impune ca o necesitate sporirea preocupării la nivelul întreprinderii asupra tuturor acestor activități, abordate unitar ca indispensabile asigurării competitivității produselor. Chiar dacă aprofundarea unora se face prin studii de sine stătătoare de către institute de cercetare științifică și inginerie tehnologică, de unități de comerț exterior sau la nivelul centralei industriale, întreprinderea realizatoare a produselor — și care asigură calitatea produselor — este necesar să cunoască în detaliu evoluțiile performanțelor produselor similare, să-și fundamenteze programele de modernizare și de promovare a progresului tehnic și întreaga organizare a proceselor de producție.

Cunoașterea evoluției caracteristicilor produselor similare, a posibilităților de diversificare, a beneficiarilor potențiali, a duratei generale în care se pot transpune o serie de obiective concrete și altele reprezintă un fel de „radar", indispensabil fundamentării proiectului de organizare. Funcția regulatoare a pieții poate fi suplinită mult mai bine și mai operativ, mai ales în cazul produselor cu ciclu mare de activitate și cu valori mari, prin aprofundarea acestor activități de inginerie de sistem. Pe baza lor se va reveni fundamentat asupra modificării volumului de producție (în special în sensul diversificării produselor), a caracteristicilor produselor, promovării unor noi cercetări științifice, stabilirii activităților de comercializare pe piața externă [3, pag. 171—184].

În capitolul proiectului privitor la optimizarea structurii programului de producție, folosind o parte din informațiile desprinse din studiile amintite și instrumentele cercetării operaționale (metode de programare liniară, programare dinamică ș.a.), se stabilesc o serie de optimizări din punct de vedere economic sau organizatoric care, în majoritate, se finalizează prin implicații asupra proceselor tehnologice. Principiul lui Bellman — *o politică optimă se compune din subpolitici optime* — este valabil și în acest caz, definindu-se o serie de optimizări parțiale, dintre care se evidențiază în continuare cîteva.

a. Optimizări ale nomenclatorului de fabricație și structurii sortimentale pentru fundamentarea planului de producție. Prin acestea se va urmări, în mod deosebit, corelarea cu gradul de utilizare a capacității de producție și cu indicatorii economici ai activității desfășurate.

b. Optimizări ale programării în timp a producției (ordonanțării), urmărind ca — în conformitate cu principiile proporționalității, ritmicității, continuității proceselor de producție, cu cerințele impuse de operațiile de montaj sau de termenele de livrare, cu parametrii programării operative ai procesului de producție, cu anumite restricții de resurse (spre exemplu, determinate de indisponibilități de utilaje pe perioada efectuării reparațiilor sau de restricții majore energetice într-o anumită perioadă) —

* O concepție modernă, amplă atît pe plan teoretic, cît și aplicativă a abordării marketingului pentru fundamentarea politicii de dezvoltare a întreprinderii rezultă din lucrarea lui C. Florescu [2].

Scanned with OKEN Scanner

să se stabilească repartizarea sarcinilor de producție pe intervale scurte de timp sau eșalonate pe un interval mai îndelungat.

c. Optimizări ale procesului tehnologic, prin care se urmărește corelarea unor grupaje de operații (spre exemplu între cele primare, cum sînt operațiile de turnare, forjare, laminare, și operațiile de prelucrări mecanice prin așchiere, optimizarea făcîndu-se prin prisma mărimii adaosului de prelucrare); suplinirea indisponibilității unor resurse de utilaje sau de forță de muncă la anumite operații etc.

d. Optimizări ale gradului de specializare și cooperare între mai multe unități care participă la realizarea produselor complexe, problemă deosebit de amplă prin implicațiile la nivel micro și macroeconomic, precum și ale dezvoltării raporturilor cu alte unități.

În privința programării generale a ansamblului activităților (în conformitate cu tematica proiectului: de asimilare a unor produse sau tehnologii noi, de detaliere și coordonare a programelor de cercetare științifică, inginerie tehnologică, sau de reparații și modernizări), utilizînd instrumente de programare în rețea — de genul metodelor drumului critic, PERT — se evidențiază interdependența tehnologică între activitățile programului, se stabilesc sarcinile de coordonare, se evidențiază rezervele de timp de care se dispune, se pot găsi mijloace pentru încadrarea într-o anumită perioadă de timp impusă fie de ciclul de viață al produsului, fie de către beneficiari sau de cerințele pieții.

Corelațiile existente vizează aspectul integrării reciproce, din punct de vedere organizatoric, a mai multor produse sau programe care se execută în unitatea respectivă, folosirea căilor intensive de modificare a regimului tehnologic (acolo unde este posibil acest lucru), sau a căilor extensive, de suplimentare a resurselor. Și de această dată se remarcă condiționări importante față de balanța de capacitate de producție și de indicatorii de eficiență economică (în sensul explicitării efectelor care se pot obține prin reducerea programelor sau ale posibilităților de suplimentare a duratei unor activități pentru îmbunătățirea unor aspecte calitative ale produselor sau ale programelor respective).

Dimensionarea locurilor de muncă se bazează pe considerarea într-o viziune strict interdependentă a mai multor factori, ținînd seama de unele priorități. Sistemul de fabricație (indicator calitativ dependent de volumul de producție și de constanța în fabricație la nivelul locurilor de muncă) condiționează formele de organizare a procesului de producție, gradul de dotare cu echipament tehnologic (SDV-uri), modalitățile de programare operativă ș.a. [4]. Dimensionarea locurilor de muncă și amplasarea utilajelor trebuie să ia în considerare, pe lîngă sarcinile determinate de volumul de producție și specificul procesului tehnologic, cerințele impuse de sistemul de transport intern, circulația obiectelor muncii pe parcursul prelucrării lor, căile și mijloacele de aprovizionare cu materii prime și materiale, circulația forței de muncă, sistemul de evacuare a șpanului, rețelele de utilități (cum sînt cele de alimentare cu energie electrică, gaze naturale, aer comprimat, apă), normele ergonomice și de protecție a muncii.

Probleme interesante din punct de vedere organizatoric ridică implementarea cît mai bună în cadrul proceselor de producție a roboților industriali, sporirea flexibilității liniilor tehnologice de prelucrare sau de

Scanned with OKEN Scanner

asamblare, efectuarea unor modificări în cazul unor situații existente. Este posibilă folosirea unor elemente similare liniilor tehnologice, constituite în „celule de fabricație" pentru execuția unor repere sau a unor subansambluri, care sînt asemănătoare producției în sistem de fabricație de masă sau de serie mare și sînt integrate în ansamblul sistemului de fabricație de serie mică sau mijlocie.

Delimitări ale grupurilor de mașini conform activităților dintr-un atelier sau dintr-o secție, cu amplasarea corespunzătoare a utilajelor, se bazează și în același timp servesc pentru considerarea structurilor organizatorice, pentru trecerea de la nivelul locurilor de muncă la nivelul general al întreprinderii, pentru stabilirea relațiilor între diferite compartimente participante la realizarea produselor complexe, toate acestea cu implicații asupra gradului de utilizare a capacității de producție.

Fundamentarea necesarului de resurse materiale și energetice se face pe baza procesului tehnologic, în contextul normativelor economico-financiare. Un rol important al organizării este perfecționarea tehnologiilor de fabricație și promovarea unor instrumente operative de genul bilanțurilor energetice și de materiale, cu ajutorul cărora să se fundamenteze și să se detalieze analitic consumurile de resurse, pentru stabilirea sarcinilor de asigurare ritmică cantitativă și calitativă a lor. Uneori sînt necesare restructurări ale programării producției, intervenții pentru stabilirea unor cooperări ș.a. în așa fel încît potențialul productiv și indicatorii economici ai întreprinderii să fie respectați.

Concepția organizatorică generală a întreprinderii are în vedere încadrarea în cerințele la nivel de platformă industrială (corelări cu unități economice din zonă, mai ales în privința rețelelor de transport, depozitelor, rampelor pentru calea ferată, centralelor termice, unităților de calcul, cantinelor, creșelor etc.). Dezvoltarea unor structuri organizatorice auxiliare și anexe — cum sînt: ateliere sau secții de SDV-uri, servicii mecano-energetice, sere, unități de calcul, de cercetare științifică, inginerie tehnologică, a unor compartimente de comercializare, service — solicită o serie de probleme privind corelarea cu profilul de bază al întreprinderii. Fără a susține o hiperdezvoltare a acestora, trebuie subliniată interferența între activitățile amintite și gradul de specializare, cooperare, combinare a producției întreprinderii, între resursele alocate dezvoltării și efectele obținute (uneori activitățile de elaborare a SDV-urilor, a unor agregate, chiar a unor linii tehnologice reprezintă contribuții remarcabile ale întreprinderii pe piața externă). Remarcăm o preocupare recentă în unele întreprinderi din țări puternic industrializate de constituire a unor compartimente și structuri organizatorice auxiliare, anume specializate pentru recuperarea și reintroducerea în circuitul tehnologic a substanțelor disipate prin poluare, ca o consecință a cerințelor încadrării în normele de protecție a mediului înconjurător și a valorificării depline a materialelor.

În privința conducerii operative a programului de producție se atrage atenția asupra caracterului iterativ al elaborării proiectului. Pornind de la valori preliminar stabilite ale volumului de producție, formelor de organizare, procesului tehnologic, mărimii lotului și resurselor de care dispune întreprinderea se elaborează ciclogramele formelor de organizare a producției și modul de ordonanțare. Pentru respectarea coeficienților normați de încărcare a utilajelor și locurilor de muncă, de asemenea, pentru

Scanned with OKEN Scanner

corelarea între capacitățile de producție disponibile și cerințele beneficiarilor, cît și în scopul asigurării unei cît mai bune finalități economice a activității desfășurate se revine în variante distincte asupra formelor de organizare, elaborînd ciclograme pe produse și grupe de mașini. Disponibilitățile de timp ale activităților necritice, disponibilitățile de capacități de producție vor fi valorificate, stabilind variante de desfășurare a producției. Se determină valorile loturilor optime de fabricație, perioada de repetare a loturilor, variația stocurilor de producție neterminată etc. și se întocmesc instrumentele de programare operativă (plan standard, grafic director), corelate cu programarea generală, de ansamblu, a activității întreprinderii. Același lucru este valabil în privința corecțiilor necesare în timpul urmăririi producției.

Sînt evidențiate distinct (în fig. 4.1 sînt reprezentate într-o parte și în alta a conținutului cadru al proiectului de organizare) două aspecte cu implicații majore în activitatea de proiectare a organizării: primul, privind capacitatea de producție — indicator sintetic al potențialului productiv, de la nivelul locurilor de muncă pînă la ansamblul întreprinderii — care servește pentru fundamentarea sarcinilor de producție, și, cel de-al doilea aspect, privind proiectarea sistemului de asigurare a calității.

Avînd în vedere caracterul fundamental al indicatorului capacității de producție, urmărirea și optimizarea sa, corelată cu indicatorii economici-financiari, trebuie să se facă operativ cu ajutorul unor bănci de date anume destinate. Pe această cale vor fi studiate și măsurile pe termen lung, de modificare a strategiei de dezvoltare a întreprinderii, a asimilării în fabricație a unor produse și tehnologii noi.

Sistemul de asigurare a calității trebuie ca — prin intermediul unui compartiment specializat, aflat în structura organizatorică a întreprinderii — să fundamenteze științific politica de calitate a întreprinderii pentru produsele executate, să stabilească măsurile organizatorice pentru asigurarea în permanență a competitivității produselor pe piața externă, să coordoneze și să aprobe manualul de calitate, planul de calitate pentru fiecare produs, să coordoneze, să îndrume și să controleze activitatea tuturor compartimentelor întreprinderii (inclusiv pe cel al CTC) pentru transpunerea sarcinilor de asigurare a calității, să întocmească rapoarte periodice destinate conducerii întreprinderii privind calitatea produselor și tehnologiilor, să răspundă în fața organelor specializate ale administrației de stat și ale beneficiarilor, solidar cu cei implicați pentru calitatea produselor executate. În cazul întreprinderilor mici și mijlocii considerăm că efectuarea activităților de studiere a cerințelor economice și sociale este indicat să revină acestui compartiment, prin implicațiile pregnante pe care le determină asupra asigurării calității [3, pag. 265—276].

Organizarea proceselor de muncă este o parte distinctă a proiectului, pe care doar o amintim în prezentarea de față. Urmărim ca forța de muncă să fie cît mai bine utilizată ca factor al procesului de producție, asigurîndu-se condițiile ergonomice, psiho-sociologice adecvate ale personalului muncitor la toate locurile de muncă, să existe posibilitatea de sporire a contribuției sale pentru dezvoltarea în perspectivă a întreprinderii, pentru realizarea unor produse și tehnologii noi, cît mai bune calitativ, pentru creșterea interesului față de indicatorii economici ai activități desfășurate.

Scanned with OKEN Scanner

4. Caracteristici principale ale proiectului de organizare

a. Conținutul proiectului trebuie să se bazeze pe o profundă concepție sistemică, integratoare a fenomenelor tehnice, tehnologice cu cele economice și organizatorice. Este necesar să fie avut în vedere caracterul interdependent al diferitelor posibilități de soluționare a procesului tehnologic cu proiectul definitor al soluției constructive, cu criteriile de eficiență economică, cu indicatorii finalității activității desfășurate, în așa fel încît să fie respectate evoluțiile cerințelor economico-sociale, comandamentele strategice stabilite prin hotărîri de partid și prin acte normative, sarcinile de ansamblu ale dezvoltării pe termen lung și mediu ale ramurii industriale și întreprinderii. Esența organizării este de a asigura unitatea într-o extrem de mare diversitate de fenomene care iau parte în procesul de producție.

b. Elaborarea proiectului de organizare — ca proiect de specialitate — se face imediat după celelalte proiecte definitoare ale soluțiilor constructive și tehnologice, urmărind să ia în considerare corelațiile care se impun prin evoluția cerințelor reale ale dinamicii progresului tehnico-științific, posibilitățile tehnologice și resursele specifice ale unităților participante la execuția produselor, cerințele comerciale ale beneficiarilor. Este necesară și extrem de utilă, pentru a permite reducerea ciclurilor de asimilare și a asigura competitivitatea pe piața externă, elaborarea unor variante de organizare a proceselor de producție. Aceste variante sînt determinate de evoluții posibile ale conjuncturii economice, de schimbări ale caracteristicilor produselor de referință sau care sînt previzibile în optica unor beneficiari, de evoluții ale volumului de producție, de posibilitățile de specializare și cooperare etc.

Preocuparea de a nu se limita în etapele de concepție doar la definirea soluțiilor constructive, tehnologice și organizatorice, ci de a le optimiza în conformitate cu un număr mare de criterii specifice, reprezintă una dintre cele mai importante condiții, hotărîtoare a eficienței activității desfășurate. Faptul că există și se reiau în cadrul proiectului de organizare unele aspecte de natură tehnică nu trebuie confundat cu o suprapunere cu proiectele de specialitate tehnică, ci trebuie înțeles ca un factor pe baza căruia se au în vedere în mod anticipat, previzional — pe baza criteriilor de eficiență economică — reluări și aprofundări ale aspectelor propriu-zise de specialitate, înainte de lansarea produselor în fabricație. Pe parcursul desfășurării producției, în funcție de modificările resurselor sau de apariția unor soluții noi, trebuie să fie realizată actualizarea corespunzătoare a modului de organizare și, în această privință, flexibilitatea procesului de producție și a structurilor organizatorice sînt determinate de felul în care sînt soluționate aceste probleme prin proiect. De aceea, elaborarea proiectului de organizare a proceselor de producție și a muncii trebuie să fie rezultatul activității comune a inginerilor și economiștilor. Gradul de detaliere a proiectului este condiționat de complexitatea proceselor de producție, a produselor sau tehnologiilor la care se referă, de mărimea volumului de producție ș.a.

c. Specificitatea — caracteristică care apreciază capacitatea proiectului de a răspunde cît mai bine unor anumite aspecte concrete — este

Scanned with OKEN Scanner

determinată de cerința luării în considerare a unui număr mare de factori perturbatori care pot interveni. Proiectele de organizare trebuie să fie strict specifice condițiilor concrete de lucru, disponibilităților de forță de muncă (atît cantitativ, cît și ca nivel al pregătirii profesionale), stării tehnice a utilajelor.

Cîștigul de timp și de muncă obținut printr-o aplicare mecanică, stereotipă a unor proiecte sau variante de proiecte dintr-un caz în altul, de la o întreprindere la alta, nu se regăsesc prin efecte favorabile, comparativ cu aprofundarea și adaptarea concretă a modului de concepție organizatorică conform condițiilor concrete existente în fiecare întreprindere și chiar la nivelul secțiilor, atelierelor, locurilor de muncă ale întreprinderii.

d. Caracterul sistemic pronunțat al proiectului de organizare impune utilizarea unui aparat matematic adecvat, bazat pe folosirea bazelor și băncilor de date (pentru optimizarea utilizării capacității de producție, pentru determinarea și studiul nivelului tehnic al produselor, pentru calculația și urmărirea costurilor produselor ș.a.). De asemenea este necesară utilizarea metodelor și modelelor cercetării operaționale ca mijloace de investigare și de optimizare a proceselor de producție. Utilizarea calculatoarelor electronice pentru reglarea și conducerea proceselor de producție deschide ample perspective, absolut necesare pentru soluționarea în timp real a principalelor aspecte organizatorice și de programare operativă.

Multitudinea de stări posibile în care se pot găsi componentele sistemelor mari (în cazul de față ale proiectului de organizare a proceselor de producție) fac ca dimensiunile acestor proiecte să fie foarte ample și, de aceea, în unele cazuri, se vor aprofunda doar anumite părți. Considerăm că aceasta nu trebuie să determine un spirit demobilizator, lăsînd ca problematica respectivă să fie soluționată fragmentat, ad-hoc. Așa cum este de neconceput — ca o cerință a disciplinei tehnologice — execuția unor produse fără documentație tehnică și tehnologică adecvată, pentru soluționarea problematicii actuale a organizării proceselor de producție și a muncii, trebuie subliniat că este necesară și întru-totul posibilă elaborarea acestor proiecte de specialitate, anume destinate, care să mobilizeze cît mai bine resursele întreprinderilor și institutelor, inclusiv resursele de creativitate și să contribuie la realizarea în condiții de eficiență a tuturor obiectivelor propuse.

BIBLIOGRAFIE

1. BOLDUR, GH. *Gestiunea științifică a întreprinderilor*. București, Editura Științifică și Enciclopedică, 1987.
2. FLORESCU, C. *Strategii în conducerea activității întreprinderii*. București, Editura Științifică și Enciclopedică, 1987.
3. CIUREA, S. *Nivelul tehnic al produselor*. București, Editura Științifică și Enciclopedică, 1987.
4. DUMITRESCU, M. (sub redacția), *Enciclopedia conducerii întreprinderii*. București, Editura Științifică și Enciclopedică, 1981.
5. Legea nr. 5 din 1985 privind creșterea productivității muncii, perfecționarea organizării și normării producției și a muncii. Buletinul Oficial al R.S.R., partea I, nr. 71, dec. 1985.

Scanned with OKEN Scanner

5

Informaţiile de proces — formă de valorificare a inteligenţei tehnice

Gheorghe Manea
Institutul de Economie Industrială

Într-o anumită etapă a organizării proceselor efectorii, informaţiile (în special know-how-ul, regăsit ca regulament de fabricaţie, instrucţiuni de lucru, pregătirea şi experienţa personalului de operare şi întreţinere, metodologia de control etc.) aveau ca scop asigurarea funcţionării normale a instalaţiilor la parametrii tehnici prestabiliţi: constanţa acestora, ca şi a calităţii materiilor prime, a produselor finite, a gradului de folosire a capacităţii de producţie, fiind caracteristica de bază a modelului proceselor efectorii.

Ulterior, evoluţia tehnologiilor, a performanţelor echipamentului, a calităţii materiilor prime (din ce în ce mai sărace în elemente utile) şi a produselor finite, lărgirea nomenclatorului de fabricaţie şi ridicarea gradului de înnoire a acestuia încep să caracterizeze industria modernă. Aceasta este obligată să ţină seama nu numai de progresul accelerat al ştiinţei şi tehnicii, ci şi de necesitatea adaptării proceselor productive la factorii conjuncturali, ca dificultăţile financiare sau geopolitice de procurare a unor resurse primare, oferta excedentară pe piaţa mondială a unor produse, restricţiile de ordin ecologic şi toxicologic, creşterea continuă a pretenţiilor calitative ale utilizatorilor etc.

1. Valorificarea informaţiilor de proces

În acest proces continuu de adaptare-perfecţionare a activităţii productive sînt puternic implicate informaţiile provenite din procesele efectorii care, corespunzător prelucrate, sînt folosite ca feed-back al sistemului de producţie [1], determinînd, la nivelul acestuia, reacţii de tipul:

— Adaptarea procesului efector [2] la funcţionarea instalaţiilor cu calităţi diferite de materii prime, fără modificarea caracteristicilor de calitate a produselor finite sau chiar în condiţiile îmbunătăţirii acesteia;

— creşterea valorii de întrebuinţare a produselor, în funcţie de dinamica progresului ştiinţific şi tehnic, de cerinţele consumatorilor şi ca urmare a necesităţii menţinerii sau obţinerii unei anumite poziţii pe piaţă;

Scanned with OKEN Scanner

— perfecționarea continuă a procesului tehnologic pentru a funcționa în condiții de minim al consumului (și evident, al costurilor de fabricație), de maxim al randamentelor și cu impact redus asupra mediului înconjurător;

— integrarea proceselor efectorii în sistemul economic teritorial, cu scopul minimizării consumului de resurse (inclusiv pe linia valorificării subproduselor de fabricație și a resurselor energetice recuperabile) și maximizării efectelor activității productive [3];

— controlul fenomenului de uzură morală a întreg procesului efector, cunoscută fiind tendința de reducere continuă a ciclului de viață a tehnologiilor și produselor (tabelul 5.1); prin intermediul informațiilor de proces se poate aprecia, în mod continuu, decalajul de nivel tehnic existent al procesului efector propriu, față de cele similare, reprezentative pe plan mondial și se poate organiza activitatea de reducere a acestui decalaj, prin stabilirea măsurilor corespunzătoare (politici, strategii etc.);

Tabelul 5.1

Durata de viață a unor produse [4, 5, 6]

	Durata de viață în perioada 1970—1980, ani	Durata de viață:	
		în perioada	ani
Utilaje industriale	8—10	1957—1971	16—21
Produse industriale	6—8	1920—1930	16—20
Produse industriale	6—8	1950—1970	8—12
Tractoare	2—8	1957	15
Autocamioane	5—7	1957	9
Strung universal	7	1959	10
Avioane	8	1959	10

— valorificarea, în scop productiv, a stocului de cunoștințe profesionale ale specialiștilor din producție [7], a inteligenței tehnice a acestora, a imensului volum de informații generate continuu de practica operării instalațiilor și utilizării produselor. Pentru prelucrarea acestor informații s-au dezvoltat tehnici speciale, de tipul EVOP [8]*, sisteme expert de control al proceselor [9], de operare în condiții economice de „optim continuu" etc.

Complementare avantajelor ce rezultă — pentru eficiența procesului efector — din comportarea cibernetică a acestuia la acțiunea informațiilor de proces (corespunzător prelucrate și folosite) sînt și următoarele efecte:

— Modificarea noțiunii de capacitate de producție, mărimea capacității fiind privită într-o dinamică ascendentă, urmare a perfecționării continue a procesului tehnologic și a eliminării strangulărilor din proces. Producția realizată (îndeosebi în perioada ascendentă a ciclului de viață al produselor) poate depăși cu mult capacitatea nominală.

* Operare evolutivă.

Scanned with OKEN Scanner

— Perfecționarea continuă a procesului de fabricație duce la conturarea unei noi tehnologii, în care informațiile de proces pot fi regăsite ca un nou know-how, ca brevete inspirate din procesul de fabricație etc. Valoarea acestor informații comercializate se regăsește, într-o proporție din ce în ce mai mare, în volumul activității economice a unității productive. Sînt cazuri cînd unele firme din țări industrializate obțin cca 30% din valoarea producției industriale din valorificarea informațiilor de proces [10].

În ultimii 10—20 ani are loc o amplificare a valorificării informațiilor de proces prin diversificarea acestora, ca produse comerciale ce includ și forme de asistență tehnică, programe pentru calculator, licențe, diagnoză, consultații tehnice, expertize, programe pentru formarea personalului, service (pentru modernizarea produselor la beneficiar) etc., toate aceste forme creînd premise pentru creșterea eficienței economice a proceselor efectorii.

— Extinderea ponderii valorii informațiilor de proces în totalul vînzărilor unei întreprinderi reduce, parțial, dependența acesteia de conjunctura pieței resurselor și produselor finite. Se amplifică activitatea economică fără investiții de capital și consumuri suplimentare de resurse primare, fără a se degrada mediul înconjurător sau a se extinde suprafețele de producție. Se cere, în schimb, o organizare superioară a personalului, a inteligenței tehnice a acestuia: procesul efector trebuie privit ca generator continuu de informații comercializabile (dar și consumator, în același timp, de informații).

Adaptarea gestiunii întreprinderilor industriale la producerea și comercializarea și a acestui tip de activitate, proprie proceselor efectorii moderne este condiția esențială a „informatizării" proceselor productive*.

— Pregătirea cadrului corespunzător țărilor în curs de dezvoltare de a asimila tehnologiile importate este ușurată de formarea specialiștilor, de cei ce vor prelucra informațiile de proces și vor menține tehnologiile achiziționate la nivel acceptabil tehnic (și de eficiență economică), ei formînd ceea ce este, în general, cunoscut sub denumirea de „capacitate tehnică de asimilare".

Evident că formarea anticipată (eventual la furnizorul de tehnologie) a specialiștilor condiționează reușita acestei asimilări, fără de care, decalajul de nivel tehnic între instalațiile și tehnologiile achiziționate și cele de referință, din țările industrializate, se instalează rapid și va duce la ieșirea din limitele de eficiență economică a activității productive [11, 12, 13].

— Comercializarea informațiilor de proces permite să se opteze pentru variante de dezvoltare economică în care, alături de resurse materiale și energetice apare și inteligența — resursă ce s-a dovedit capabilă să crească cu 30% eficiența economică a unui proces efector.

Pentru unele firme, „supraviețuirea" economică, în anumite condiții de conjunctură a pieței, depinde de spiritul inovator al personalului, de

---

* Pentru anumite tehnologii și produse de vîrf, acest proces de „informatizare" este indus și din exteriorul instalației industriale prin contribuția sectorului cercetare—dezvoltare, prin subsidii sau prin organizări specifice, de tip „tehnopol", prin integrare cu unități de învățămînt superior etc.

Scanned with OKEN Scanner

nivelul calitativ al produselor — cerințe ce nu pot fi realizate decît printr-o largă utilizare a cunoștințelor, talentului și ideilor individuale, prin punerea mai bună în valoare a specialiștilor ce lucrează în producție [14].

Din punct de vedere economic [15, 16] informațiile de proces și-au statuat o formă proprie de vehiculare (know-how, asistență tehnică, programe pentru calculatorul de proces al instalației etc.), o legislație proprie, dirijată, în special, către protecția „paternității" informațiilor, limite de preț pentru comercializare, o piață din ce în ce mai largă de desfacere*. La nivelul anului 1982, volumul total al informațiilor tehnice comercializate pe piața mondială [18, 19] a fost apreciat la 700 mrd dolari, comparativ cu 400 mrd dolari realizat în anul 1977 [20, 21].

Valorificarea informațiilor de proces nu înseamnă numai creșterea beneficiului unității productive, dar și:

— Amplificarea activității economice: valorificarea informațiilor de proces dă o replică industriei convenționale (orientată spre obținerea produselor materiale), prefigurînd tipul proceselor efectorii moderne.

— Posibilitatea repartizării unei cote mai mari din valoarea producției industriale către activitatea de cercetare-dezvoltare (C+D), fapt ce poate facilita atingerea unei poziții prioritare în tehnologie [17] și anume în tehnologia produselor de vîrf. În anul 1982 comerțul cu tehnici de vîrf s-a ridicat la aproape 500 mrd dolari [22].

Valoarea — intenționat mai ridicată — a informațiilor de proces provenite din instalațiile industriale ale ramurilor de vîrf, asigură o eficiență economică mai ridicată a acestor unități. Sînt cunoscute cazuri cînd, pentru unele produse sau tehnologii, valoarea licenței depășește valoarea tuturor utilajelor necesare realizării instalațiilor industriale: raportul dintre valoarea licenței și valoarea investiției este cu atît mai mare, cu cît produsele — la care se referă licența — se situează printre tehnologiile de vîrf [23].

— Posibilitatea schimbării directe a unor informații de proces între unitățile productive cu profil similar mărește potențialul tehnic de înnoire continuă a nomenclatorului produselor și tehnologiilor [17, 19].

— Comerțul cu informații de proces poate fi dirijat pe direcții prioritare (eventual, subordonate unor politici interstatale): de exemplu, comerțul cu licențe între țările capitaliste reprezintă cca 63% din total, între acestea și țările în curs de dezvoltare 3%, între țările socialiste și cele capitaliste 10%, între țările membre CAER 24% [24].

2. Conturarea informațiilor de proces

O dată cu decizia realizării unei instalații industriale a fost achiziționată (sau elaborată) o tehnologie pentru care, de la furnizor, s-au primit documentațiile tehnice referitoare la proces și la produsul finit, precum

* Încasările din vînzarea informațiilor de proces au evoluat, în anul 1983 față de 1970 (1970=100) astfel: S.U.A. — 142, Franța — 129, Japonia — 442, R. D. Germană — 44, Anglia — 73 [17].

Scanned with OKEN Scanner

și toate informațiile necesare aplicării efective, la scară industrială, a tehnologiei, informații care formează așa numitul *know-how*.

Produsul rezultat — ca urmare a acestui proces investițional — va avea caracteristicile de calitate similare celor garantate de furnizor sau preconizate de cercetător. De la data contractării sau luării deciziei de a realiza o instalație industrială și pînă la obținerea produselor finite se scurge o perioadă de 1—3 ani (la care se adaugă și timpul necesar elaborării proiectelor) ce favorizează apariția uzurii morale. La apariția sa ca produs industrial, acesta prezintă, în mod obiectiv, un decalaj de nivel tehnic, decalaj ce impune cu stringență necesitatea îmbunătățirii tehnologiei, în așa fel ca produsului să i se ridice performanțele de calitate, iar procesul — în ansamblul său — să devină competitiv.

O asemenea formă de îmbunătățire a procesului tehnologic și a calității produsului este aceea a valorificării informațiilor de proces (ca feedback al procesului de producție), dar acest lucru presupune:

— Dotarea instalației cu personal specializat, din care echipa de tehnologi are rolul principal în conducerea procesului, analiza sistematică a acestuia și optimizarea parametrilor, identificarea și eliminarea locurilor înguste de capacitate, perfecționarea operațiilor unitare, valorificarea subproduselor de proces și a resurselor energetice recuperabile, creșterea fiabilității unor utilaje cheie, prin întreținerea preventivă, prelungirea duratei între două opriri planificate a instalației etc.;

— acces la sursele de informații din domeniu pentru a cunoaște permanent nivelul parametrilor înregistrați pe plan mondial și a face posibilă compararea cu propriile performanțe;

— instruirea personalului de operare și întreținere: în industria modernă, procesul de învățare din experiență personală nu mai este proporțional cu timpul, deoarece atît tehnologia, cît și produsul se modifică continuu, făcînd necesară intervenția din exterior în scopul intensificării procesului de instruire;

— dotarea instalațiilor cu echipamentul necesar înregistrării și prelucrării informațiilor de proces, a controlului fabricației, progresele realizate în domeniul tehnicii de calcul se regăsesc și în conducerea procesului tehnologic sub forma sistemelor expert (în instalațiile cu funcționare continuă) pînă la sistemele CAD/CAM (în instalațiile cu funcționare discontinuă); implementarea acestor sisteme cu elemente de inteligență artificială conduce la valorificarea masivă a informațiilor de proces: elaborarea unui sistem expert poate înmagazina informații anterior acumulate, în perioade de 6—12 ani de exploatare industrială [25].

Procesele tehnologice și produsele finite sînt caracterizate prin parametri tehnici, a căror urmărire și menținere formează obiectul activității personalului de operare. Acești parametri sînt stabiliți inițial de cercetător, care, din testele efectuate pe instalații la scară mai mică, a obținut gama valorilor estimate pentru parametrii tehnici. Estimările, deși utile, reprezintă presupuneri inițiale într-un proces iterativ ulterior [8].

După punerea în funcțiune a instalației, prin analiza statistică a variației parametrilor și, mai ales, prin urmărirea corelațiilor dintre aceștia, se ajunge la o primă fază a stabilirii potențialului tehnico-productiv. Compararea performanțelor maxime ale operațiilor unitare făcute pe întreg fluxul de fabricație conturează capacitatea de producție a instalației

Scanned with OKEN Scanner

și pune în evidență locurile înguste ale procesului. Elaborarea programelor de remediere a strangulării capacității se înscrie pe graful logic al perfecționării tehnologice și al creșterii eficienței economice.

Realizarea unui asemenea program (uzual în timpul perioadei de revizie generală) conduce la iterația a II-a a analizării capacității de producție și pune în evidență faza tehnologică următoare, devenită critică pentru performanțele ansamblului instalației.

A putut fi astfel obținut un prim set de informații de proces privitor la obținerea unei producții mai mari cantitativ, pe aceeași instalație. Se modifică, în consecință, valoarea capacității de producție, în sensul că aceasta nu mai este limitată la datele inițiale din proiect, ci mărimea ei crește continuu.

Al doilea set de informații se referă la calitatea produselor, calitate îmbunătățită continuu, ca rezultat al perfecționării controlului de calitate (metodologie, organizare, dotare), al schimbării calității materiilor prime și auxiliare, al măririi sensibilității aparaturii de măsură și control, al optimizării valorilor unor parametri, al schimbării imaginii produsului (suprafinisare, schimbare design etc.) și al cerințelor pieții.

Cunoașterea continuă a cerințelor consumatorilor, a performanțelor produselor similare (de concurență) este esențială, deoarece orientează preocupările specialiștilor către acele aspecte ale calității care sînt preponderente în sfera competitivității și care, odată atinse, marchează startul generării celui de-al doilea set de informații.

Tehnologia propriu-zisă oferă suportul celui de-al treilea set de informații, cuprinzînd observațiile privitoare la schimbarea tipurilor de catalizatori, a randamentelor de transformare sau de separare, a toleranțelor de prelucrare, a modificărilor din flux care vizează reducerea consumurilor tehnologice, creșterea productivității muncii, reducerea cantității de noxe etc.

Pot avea loc schimbări de rețetă de fabricație sau de proiect de execuție și astfel se diversifică gama produselor finite, iar în ultima perioadă de funcționare a instalației (în perioada de declin pe ciclul de viață al acesteia, sau al produsului) pot fi efectuate experimentări — la scară industrială — pentru noi tehnologii sau noi produse.

Alt set de informații privește performanțele utilajelor și echipamentelor, unele adaptări constructive ale acestora, urmărirea comportării la eroziune și coroziune și posibilitățile de combatere a acestor fenomene, individualizarea părților din instalație ce prezintă zone critice pentru exploatare, rezistențe hidraulice mari, acces dificil pentru întreținere, concentrații depășite de noxe industriale etc.).

Este urmărită comportarea materialelor în timp, sub solicitare statică și dinamică, obținîndu-se informații despre siguranța în exploatare a instalației, în vederea corectării coeficienților de siguranță și de garanție utilizați la dimensionarea utilajelor. Acest tip de informații este util sectorului de inginerie pentru proiectarea noilor instalații și pentru conceperea proiectelor de perfecționare a utilajelor din propria instalație industrială.

În sfîrșit, informațiile tehnice acumulate în timp de către personalul instalației — din experiența proprie și ca urmare a procesului dirijat de instruire — pot fi valorificate sub formă de asistență tehnică acordată

Scanned with OKEN Scanner

unor instalații similare în curs de realizare sau altor instalații ale beneficiarului care încă nu posedă forță de muncă calificată. Asistența tehnică reprezintă o formă superioară de valorificare a inteligenței personalului propriu [26], justificînd, astfel, stabilirea unor politici naționale de pregătire a forței de muncă destinate — în perspectivă — asistenței tehnice [27].

Din punct de vedere organizatoric, valorificarea informațiilor de proces presupune existența specialiștilor proprii fiecărei unități în care se desfășoară un proces efector. În industrie se întîlnesc specialiști în funcționarea unor utilaje, în operații unitare, în tehnologii, produse finite, automatizarea proceselor de fabricație, robotizare, protecția mediului înconjurător, procese energetice etc., toți aceștia avînd cunoștințe aprofundate într-un domeniu restrîns; integrarea activității la nivelul întregului proces de producție se face prin colaborarea între specialiști, toți aceștia avînd comun aria de desfășurare a activității, care este instalația industrială.

În sarcina specialiștilor se înscrie și amplificarea activității tehnologice în sfera producției industriale prin sistematizarea științifică a informațiilor de proces, îmbunătățirea conținutului calitativ al acestora — pe baza practicii industriale — „formularea" informațiilor, în scopul difuzării, transferării sau comercializării lor. Ca depozitar al informațiilor de proces și ca factor activ de amplificare a acestora, specialistul poate fi considerat „software"-ul instalațiilor industriale.

Prin prelucrarea informațiilor de proces și selectarea acelora care prezintă interes pentru diminuarea volumului și nivelului calității producției se formează portofoliul de „inteligență" a instalației, cu valoare de întrebuințare imediată (feed-back-ul procesului efector) sau comercializată în forme convenționale.

Valorificarea întregului potențial de informații dintr-o instalație industrială face posibilă o amortizare mai rapidă a infrastructurii de producție, dînd astfel posibilitatea înnoirii fabricației în ritmul impus de progresele științei contemporane, mobilizînd pentru aceasta, numai talent, inteligență și organizare. Din acest punct de vedere, formarea și perfecționarea profesională a specialistului de proces constituie cea mai ieftină investiție în domeniul modernizării proceselor de producție [28]; aceasta poate fi una din explicațiile creșterii numărului specialiștilor de proces în țările dezvoltate industrial, număr ce poate ajunge la 16% din totalul personalului [29].

Alăturînd informațiile de proces stocului de cunoștințe acumulat și dezvoltat continuu de sectoarele de învățămînt, cercetare, inginerie etc., specialiștii de proces au prioritate în transferul acestor cunoștințe în realități economice, în transpunerea lor efectivă în producție [30].

Specialiștii de proces trebuie să cunoască nivelul tehnic la care au ajuns procesele tehnologice similare din țară și străinătate, să urmărească tendințele ce apar în tipologia produselor și direcțiile perfecționării instalațiilor. Evident că aceste cunoștințe se bazează pe o temeinică și continuă informație tehnică și economică (evoluția cererii și ofertei, a nivelului calității, cunoașterea dinamicii prețului, a performanțelor utilajelor, sculelor, căilor de valorificare a subproduselor de fabricație, tehnicilor de reducere a consumurilor tehnologice etc.). Informațiile de acest tip permit specialiștilor de proces să conceapă programe de promovare a progresu-

Scanned with OKEN Scanner

lui tehnic, de diversificare a producției pentru a răspunde rapid cerințelor pieții.

Se pune, astfel, accentul pe comportarea dinamică a sistemului tehnologic și, în particular, pe capacitatea acestui sistem de a se adapta la o varietate de sarcini de producție: flexibilitatea astfel implicată este o măsură a viabilității economice a unei instalații, privită prin cerințele pieții [31].

Activitatea specialistului — de analiză a procesului — îi conferă acestuia calitatea de factor de decizie tehnologică privind alinierea procesului la nivelul tehnicii mondiale: deciziile luate în acest sens facilitează difuzia progresului tehnic în instalațiile industriale. Analiza diferitelor itinerarii de introducere a progresului tehnic, a fazelor care frînează scurgerea fluentă a informațiilor permite identificarea unor condiționări importante pentru cîștigarea întrecerii permanente cu timpul, minimizînd durata de asimilare a noului și evitînd apariția decalajelor mari, de nivel tehnic, față de tehnologiile reprezentative pe plan mondial.

Formarea specialiștilor de proces se petrece într-un timp îndelungat (6—12 ani), care depinde esențial de complexitatea instalației și de pregătirea inițială a viitorului specialist; nu este de neglijat nici dotarea nativă a personalului destinat unei asemenea activități.

În procesul de formare a specialiștilor de proces [28] pot fi distinse următoarele etape:

— stabilirea nomenclatorului specialiștilor în funcție de politica economică a ramurii, de strategiile de dezvoltare a produselor sau tehnologiilor;

— preselecția personalului; aceasta poate fi făcută și prin recrutarea candidaților pentru învățămîntul superior — cursuri serale sau fără frecvență — dintre maiștrii și tehnicienii din producție (spiritul de investigare, inventivitatea, spiritul analitic sînt calități ce pot fi luate în considerare în procesul de preselecție);

— elaborarea (sau adaptarea) statutului specialiștilor și a actelor normative corespunzătoare, care stabilesc rolul, locul, etapele de formare, remunerația, subordonarea ierarhică etc. a acestora.

În etapele de formare, atestarea specialistului reprezintă un moment important, care este legat, fie de obținerea unor titluri științifice (doctor, de exemplu), fie de realizări deosebite în producție (privite prin performanțele instalației, calității produselor, numărului de invenții proprii etc.). Este promovată ideea [28], ca, prin statut, să se asigure acumularea, valorificarea și transmiterea informațiilor tehnice între generații, ceea ce presupune considerarea informațiilor în dinamica lor calitativă și obligația specialiștilor de a forma, în perspectivă, un înlocuitor. Durata formării specialiștilor trebuie armonizată cu durata vieții produselor, tehnologiilor sau instalațiilor industriale, durată estimată ca în tabelul 5.2.

Presupunînd că perioada activă, de serviciu, a specialistului de proces este de 20—25 ani, rezultă că acesta are posibilitatea de a relua procesul tehnologic la o treaptă calitativ nouă și are și timpul necesar de a forma un nou specialist care să-i continue activitatea și să dea astfel garanția înnoirilor tehnologice, determinînd ceea ce se numește capacitatea tehnică de asimilare sau formarea tradiției tehnologice. Specializarea ma-

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 5.2

Durata de viață a tehnologiilor și durata formării specialiștilor de proces [28]

	Durata	Anul estimării duratei
Pierderea noutății unei tehnologii	8—12	1970
Idem	6—8	1980
Pierderea noutății cercetării științifice	3—7	1970—1980
Durata dintre cercetarea fundamentală și producție	10—15	1970—1980
Viața medie a aparaturii de cercetare	3	1980
Durata formării unui specialist de proces	6—12	1980

ximizează eficiența profesională pe o perioadă de timp aproximativ egală cu perioada activă a specialistului.

La fel de importanți, în procesul de formare a specialiștilor, ca și măsurile organizatorice sînt factorii de motivație psiho-socială ca: sentimentul de împlinire profesională și de continuitate în profesie, stabilirea locului și rolului specialiștilor în colectivitatea cadrelor tehnice, sentimentul de utilitate, absența deprecierii profesionale în timp etc.

Principalele aspecte sociale sînt legate de stabilizarea specialiștilor în zona geografică în care este amplasată instalația, de rolul acestuia în procesul de perfecționare a cunoștințelor profesionale ale personalului de operare, de formare a unor nuclee de cercetare (la nivelul laboratorului instalației industriale), contribuind astfel la formarea culturii profesional-tehnologice a colectivului din producție.

Costul extrem de redus al formării specialiștilor de proces se explică prin aceea că, pe perioada formării lor, ei sînt încadrați ca personal de exploatare (inginer tehnolog, de pildă).

3. Băncile de date — instrument de lucru al specialiștilor din producție

Băncile de date se înscriu ca un instrument uzual al activității specialiștilor de proces, în acestea găsindu-se depozitate informațiile provenite din propria instalație și din practica altor unități similare din țară și străinătate.

Organizarea băncilor de date, la nivelul fiecărei unități productive, impune crearea rețelei naționale de procurare, prelucrare și distribuire a informațiilor (tehnice, economice, de marketing etc.), ce caracterizează fabricația și produsele finite similare străine, din țările dezvoltate industrial.

Accesul larg al personalului din producție la băncile de date asigură condiții mai bune de valorificare a experienței proprii, permite compararea nivelului tehnologiilor și calității produselor cu cele asemănătoare con-

Scanned with OKEN Scanner

siderate reprezentative pentru nivelul tehnicii mondiale, stimulînd acțiunile de modernizare a producției.

Există practica ca băncile de date să fie dublate de microexpoziții permanente cu eșantioane de pe piața mondială, atenția deosebită fiind dată produselor aparținînd firmelor concurente. Aceste microexpoziții au scopul evident de instruire a personalului din producție, dar și de a genera idei pentru cercetători, specialiști de proces etc.

În faza inițială a organizării băncilor de date (care implică statut, fonduri financiare, infrastructură, apartenență la o rețea informațională națională și internațională etc.) oportună este cunoașterea performanțelor tehnice ale produselor și proceselor din țară: comparațiile prilejuite de acest schimb de informații se pot valorifica imediat prin măsurile de organizare a producției la cel mai înalt nivel tehnic înregistrat în țară.

Băncile de date proprii furnizează informațiile necesare elaborării soft-ului programabil necesar implementării sistemelor expert de conducere-control a proceselor tehnologice sau destinate comercializării.

Sînt dezvoltate forme diferite de valorificare a băncilor de date, ca de pildă în activitatea informativă generală (tipărituri, fișiere, extrase etc.), la cererea unor terți, ca mijloc auxiliar la cursurile de formare-specializare a personalului propriu sau străin de instalație (training programs), ca furnizoare de date pentru sectoarele de cercetare-proiectare proprii, informații necesare activității de expertiză, diagnostic etc.

4. Reparațiile capitale — prilej de modernizare a instalațiilor industriale

Informațiile ce se referă la hard-ware-ul instalației, prelucrate de specialiștii cu profil profesional corespunzător (mecanic, electric etc.) sînt folosite la evitarea opririlor accidentale, la prelungirea vieții utilajelor, la mărirea duratei dintre două reparații capitale, la minimizarea timpului de oprire pentru efectuarea reparațiilor, la creșterea gradului de siguranță a exploatării industriale etc.

Pentru reducerea duratei reparației capitale se generalizează practica elaborării proiectelor amănunțite (proiecte de execuție), de desfășurare a unei revizii generale. Cu acest prilej se regăsește și activitatea specialiștilor de proces, prin contribuția ce o au la:

— stabilirea nomenclatorului pieselor uzate ce urmează a fi înlocuite;

— prevederea măsurilor necesare modernizării instalației, eliminării locurilor înguste din procesul tehnologic, diminuării eroziunii și coroziunii, folosirii inhibitorilor și substanțelor de protecție etc.

O practică recentă (aplicată inițial în Japonia) prevede ca piesele uzate fizic dintr-o instalație industrială să fie, în mod obligatoriu, înlocuite cu piese cu performanțe (fizice, mecanice etc.), superioare calitativ, revizia generală înglobînd astfel elemente de progres tehnic [32].

Scanned with OKEN Scanner

Specialiștii de proces au responsabilități și în activitatea de „postrevizie generală", fiind antrenați la:

— Interpretarea seturilor de măsurători ale gradului de uzură, efectuate atît asupra ansamblului instalației industriale (rețele, construcții etc.), cît și asupra pieselor uzate, înlocuite. Se apreciază în acest mod evoluția uzurii în timp, aproximîndu-se data următoarei opriri pentru revizie. Informațiile, băncile de date și experiența specialiștilor de proces determină ca subsistemul mecanic al proceselor industriale să se comporte ca un sistem autoreglat de tip *feed-before*, în loc de *feed-back* pentru a evita în acest fel opririle neplanificate și accidentale mecanice. Aceeași constatare se poate extinde și la subsistemul energetic al instalației industriale etc.*

— Recondiționarea sau pregătirea pieselor noi ce urmează a înlocui pe cele uzate: testarea acestora cu scopul asigurării ca performanțele funcționale să fie cel puțin egale cu cele anterioare (ale piesei originale). Cînd performanțele pieselor de rezervă se arată a fi superioare celor inițiale, utilajul — ca ansamblu — prezintă elemente de noutate tehnică (fiabilitate crescută, de exemplu), informație ce poate fi valorificată comercial.

— Programarea lucrărilor de cercetare pentru eliminarea zonelor critice din proces (strangulări de capacitate, fenomene de coroziune, modificări ale structurii materialelor ce pot afecta siguranța în exploatare [33] etc.

5. Concluzii

Din instalațiile industriale nu trebuie să se obțină numai produse, ci și informații: efectul economic al valorificării informațiilor de proces poate fi egalat de cel al valorificării produselor, ceea ce, în termeni de economie politică, înseamnă asigurarea reproducției lărgite a unui proces productiv fără consum suplimentar de resurse primare. Obținerea și valorificarea informațiilor de proces se înscriu în „tehnologia informațională", care față de cea tradițională, amplifică activitatea personalului din industrie, punînd în evidență ca resursă — inteligența tehnică.

Pentru România, valorificarea informațiilor de proces capătă o importanță deosebită, deoarece:

— industria se găsește într-un proces amplu de modernizare, iar menținerea performanțelor tehnice ale produselor și tehnologiilor moderni-

* Informațiile de proces implicate în autoreglarea sistemului efector și concretizate în timpii de oprire (pentru efectuarea de lucrări de revizii generale) pot reduce sensibil consumul energetic al instalațiilor industriale. De pildă, în perioada 1972—1985, în S.U.A., consumul energetic din industria chimică a fost redus cu 36%. Cauzele acestei reduceri s-au dovedit a fi urmarea următoarelor măsuri: înlocuirea sau completarea echipamentului de control; creșterea randamentelor de fabricație, perfecționarea tehnologiei; îmbunătățirea funcționării instalațiilor mecanice și termice; recuperarea resurselor energetice refolosibile în interiorul instalației industriale, în cadrul platformei industriale sau în cadrul zonei economice adiacente (integrarea energetică teritorială); schimbări în natura și calitatea materiilor prime [34].

Scanned with OKEN Scanner

zate se poate face numai prin organizarea temeinică și eficace a prelucrării și valorificării informațiilor de proces. Se evită astfel apariția de noi decalaje de nivel tehnic față de realizările contemporane și se creează climat propice introducerii continue a realizărilor științei și tehnicii în producție [35];

— imprimarea unui caracter intensiv dezvoltării industriei presupune amplificarea rezultatelor activității economice, concomitent cu reducerea consumurilor materiale și energetice;

— existența unei tradiții, în unele ramuri industriale (în prelucrarea țițeiului, în siderurgie, produse clorosodice, îngrășăminte azotoase, prelucrarea lemnului, aviație, sticlă etc.) creează elemente favorabile valorificării informațiilor de proces;

— reducerea, ca proces natural, a volumului unor resurse naturale proprii (petrol, gaz metan) poate fi compensată, parțial, de către valoarea informațiilor de proces;

— existența formelor diverse de inteligență tehnică relevată în toate unitățile de producție (sistemele de producție se comportă în mod inteligent la comenzile sau perturbările venite din exteriorul sistemului) și care explică, printre altele, și reușita procesului rapid de industrializare a țării, pe fondul unei disponibilități native a inteligenței, ușurează decizia de organizare, la scară națională, a valorificării informațiilor de proces ca latură conexă a activității productive;

— organizarea centralizată a activității de cercetare formează un cadru prielnic colaborării între specialiștii de proces, mai ales în marile unități industriale unde există organizate centre sau colective de cercetare;

— integrarea României în circuitul mondial de informații de proces va marca, în mai mare măsură, trecerea țării noastre la stadiul de țară cu dezvoltare medie, în comerțul mondial regăsindu-se, din ce în ce mai mult, produse ale inteligenței tehnice românești.

Dintre măsurile corespunzătoare organizării valorificării informațiilor de proces (mai ales ca produse comerciale), urgente par a fi următoarele:

— stabilirea statutului specialiștilor, a măsurilor necesare formării acestora și asigurării condițiior stabilității profesionale etc.; nomenclatorul specialiștilor va fi determinat de strategiile de dezvoltare a unor produse, grupe de produse, tehnologii sau ramuri industriale;

— elaborarea programelor de pregătire și selecție a personalului, de atestare a specialiștilor; durata acestei etape este îndelungată și, normal, că numai după parcurgerea ei pot fi așteptate rezultate economice;

— stabilirea programelor de învățământ și de pregătire postuniversitară pentru specialiștii necesari viitoarelor instalații și produse ce vor fi realizate (orizontul acestei etape este de 10—15 ani);

— mobilizarea, în mai mare măsură, a valorificării informațiilor de proces sub forma asistenței tehnice (inclusiv prin intermediul unor societăți naționale sau transnaționale); această formă de comercializare a informațiilor de proces se referă și la personalul cu pregătire medie din ramuri cu tradiție industrială;

— definitivarea organizării (mai ales ca dotare) băncilor de date proprii fiecărei unități industriale, pentru a permite compararea continuă a

Scanned with OKEN Scanner

performanțelor tehnice proprii cu realizările reprezentative pe plan mondial;

— modernizarea echipamentelor de control al proceselor industriale, pentru a înlesni înregistrarea și prelucrarea informațiilor de proces la nivel competitiv cu tehnica actuală a domeniului (inclusiv orientări către sisteme expert, CAD/CAM etc.).

Intensificarea acțiunilor de creare a tuturor condițiilor de valorificare, în măsură mai mare, a inteligenței tehnice, îndeosebi sub forma informațiilor de proces, se înscrie în cerințele actuale ale societății românești de ridicare calitativă a întregii activități economice și de aliniere la nivelul tehnic, organizatoric și de eficiență a industriei moderne*.

Aceasta ar fi urmarea firească a creșterii potențialului tehnic, organizatoric și uman existent în unitățile productive din țara noastră.

BIBLIOGRAFIE

1. MANEA, GH. *Valorificarea informațiilor de proces — feed back al sistemelor efectorii moderne.* Comunicare la A 3-a Conferință Națională de Cibernetică, 3—4 oct., 1985, București.
2. SOUCEK, L. *Bănuiala unei umbre.* București, Ed. Albatros, 1984, p. 150.
3. MANEA, GH. *Integrarea complexă a platformelor industriale.* În: ENERG, vol. 1, Ed. Tehnică, București, 1986, p. 64—90.
4. GABOR, D. și COLOMBO, U. *Sortir de l'ére de gaspillage.* Paris, Dunod, 1976, p. 113.
5. * * * *Puti povișenie effectivnosti.* Leningrad, 1974, p. 12.
6. RIZEA, GH. În: Viața Economică R. S. România, nr. 32/7 febr., 1981, p. 9.
7. TOADER, GH. *Stocul de cunoștințe profesionale: structuri, semnificații, influențe.* În: Revista Economică, nr. 27/5 iulie, 1985, p. 17.
8. BOX, G. S. și DRAPER, R. *Operarea evolutivă.* București, Ed. Tehnică, 1975, p. 9—30.
9. * * * Hydrocarbon Processing, iunie, 1986, p. 55—58.
10. MANEA, GH. *Cuantificarea informațiilor de proces — posibilitate de apreciere a eficienței muncii vii înglobate în produsele industriale.* Comunicare la Simpozionul Direcției Centrale de Statistică, 20—22 dec. 1984, București.
11. MATIAS, A. *Science and Technology for Self-Reliant Develop.,* IFDA Dossier 4, 1974.
12. MOINUDDIN, BEGUI. *Social Framework for Economics develop.* IFDA Dossier 8, 1979.
13. SAGASTE, F. *Towards Endogenous Science and Technology for Another Develop.* În: Dev. Dialogue, 1, 1975.

* Noua strategie japoneză în domeniul industriei [36] se bazează pe considerarea celor „7 puncte forte" ale conduitei întreprinderilor ca determinante pentru evoluția acestora. Cele „7 puncte forte" sînt următoarele: 1) sistem suplu de decizie; 2) rețea informațională riguros organizată; 3) accentuarea funcției previzionale (feed-forward); 4) finanțare flexibilă prin intermediul sistemului bancar; 5) integrarea cercetării științifice cu cea de marketing; 6) creșterea productivității muncii; 7) capacitatea de a mobiliza personalul tehnic pentru realizarea unor sarcini prioritare ale întreprinderii. Este evident că punctele 2, 3, 5, 6 și 7 se bazează și pe valorificarea informațiilor de proces din întreprinderile industriale, ceea ce validează, încă o dată, importanța acestora pentru evoluția contemporană a proceselor industriale.

Scanned with OKEN Scanner

14. POPA, I. *Efortul pentru competitivitate în lupta de concurență.* În: Revista Economică, nr. 10/6 martie, 1987, p. 26—27.
15. * * * Biuletin inostrannoi kommerceskoi informații, nr. 151 (5572), 22 dec. 1983.
16. * * * Deutsche Bundesbank. *Monatberichte der Deutscher Bundesbank,* Ed. Frankfurt am Main, nr. 5, mai 1983.
17. MANSFIELD, E. *In Paribas.* Problèmes économiques nr. 1910, 1983.
18. GONEȘ, R. În: Problèmes économiques nr. 1901, 1983.
19. * * * OECD: Etudes Economiques 1984/1985, Japan, p. 95.
20. * * * Revista Economică, supliment la nr. 37/1985, p. 5.
21. * * * White Papers of Japan 1980—1981, Ed. The Japan Institute of International Affairs, 1982, Tokyo, p. 187.
22. * * * Revista Economică, supliment la nr. 32/1985, p. 5.
23. * * * Biulletin inostrannoi kommerceskoi informații nr. 141, (5562), 29 nov. 1983.
24. * * * Ekonomiceskie otnoșenie stran SEV s zapadnom. Moskva, Ed. Nauk, 1983, p. 230.
25. CHABREUIL, M. În: L'Usine Nouvelle, nr. 28/17 iulie, 1986, p. 34.
26. TINBERGEN, J. *Restructurarea ordinii internaționale.* Ed. Politică, București, 1978, p. 449—465.
27. * * * Révue de l'Institut Français du Pétrole. Nov/dec. 1981, vol. 36, nr. 6, p. 745.
28. MANEA, GH. *Rolul specialistului de proces în noua calitate a producției.* În: Supliment la Revista Economică nr. 44/1986, p. 2—5.
29. * * * Economic Impact, S.U.A., nr. 1, 1984, p. 40.
30. MANEA, GH. *Valorificarea informațiilor de proces — caracteristică a industriei chimice moderne.* În: Revista de Chimie 38, nr. 6, 1987, p. 761—763.
31. CRIȘAN, I. *Tehnologia ca sistem.* București, Ed. Științifică și Enciclopedică, 1980, p. 14, 76—85, 92—112.
32. MANEA, GH. *Noi cerințe în organizarea și desfășurarea activității de reparații capitale ale instalațiilor din industria chimică.* În: Revista Economică nr. 19/11, mai 1984, p. 17—18.
33. FINELY, H. F. *Reduce costs with Knowledge-based Maintenance.* În: Hydrocarbon Processing, ian. 1987, vol. 66, nr. 1, p. 64—66, 83—84.
34. * * * Hydrocarbon Processing. August 1986, vol. 65, nr. 8, p. 19.
35. MANEA, GH. *Valorificarea informațiilor tehnologice — factor de competitivitate.* În: Revista Economică nr. 23/10 iulie 1987, p. 18.
36. JOLIOT, J. P., MAYER, A., SCHOEN, C. În: L'Usine Nouvelle, nr. 6, 1987.

Scanned with OKEN Scanner

III

MAȘINI, UTILAJE ȘI SDV-URI. PROIECTARE CONSTRUCȚIE, TIPIZARE

6

Preocupări actuale și de perspectivă în domeniul dezvoltării celulelor și sistemelor de prelucrare în R. S. România*)

Dr. ing. *Aurel Sandu*
Mat. *Draga Atanasiu*
Ing. *Barbu Radu Mihăescu*
Institutul de Cercetare Științifică și Inginerie Tehnologică pentru Mașini-Unelte București

1. Aspecte ale dezvoltării și implementării celulelor și sistemelor flexibile de prelucrare

Tendința majoră care se manifestă în toate ramurile industriale bazate pe prelucrarea metalelor constă în dezvoltarea și implementarea de sisteme de producție care să permită prelucrarea loturilor mici de piese diverse în condiții de înaltă calitate, economicitate și productivitate. Premiza determinantă pentru a satisface aceste deziderate este automatizarea flexibilă a proceselor de fabricație.

Pornind de la mașina-unealtă cu comandă numerică, primul nivel de automatizare flexibilă a producției îl reprezintă celula flexibilă de prelucrare (CEP). Reunirea mai multor celule flexibile într-un ansamblu condus cu calculatorul reprezintă nivelul al doilea — sistemul flexibil de prelucrare (SFP).

Nivelele superioare de automatizare flexibilă le reprezintă „atelierul flexibil" și „uzina fără operatori umani".

Pentru a asigura implementarea și exploatarea optimă a sistemului flexibil în ansamblu și a fiecărui utilaj care intră în componența sa este necesar ca întregul ansamblu să se bazeze pe o concepție modulară, acest principiu fiind extins și la elaborarea sistemului de programe de conducere.

Multitudinea, diversitatea și complexitatea problemelor de conducere a sistemelor flexibile impun ca rezolvarea lor să se facă prin configurații modulare de hardware și software, structurate ierarhic. Acestea trebuie

* Din lucrările sesiunii de comunicări științifice „Mașini-unelte și sisteme flexibile de prelucrare", ICSITMU TITAN '87.

Scanned with OKEN Scanner

să aibă o mare siguranță în funcționare, în condițiile de exploatare specifice halelor industriale de prelucrare a metalelor.

Echipamentul de calcul poate fi ales sau proiectat în funcție de numărul de utilaje și de gradul lor de echipare, specifice fiecărei aplicații. Planificarea și lansarea loturilor de piese, în mod succesiv sau întrepătrunse, posibilitățile multiple de clasificare și control al posturilor și al condițiilor de lucru, conducerea în timp real a procesului tehnologic trebuie să asigure o mare flexibilitate și să permită exploatarea sistemului fără operatori umani pe durata a 1 . . . 3 schimburi.

Creșterea cererii de mașini „la temă" și de înaltă precizie, realizarea de centre de prelucrare complexe, celule și sisteme flexibile de fabricație reprezintă factori care fac necesară și condiționează realizarea de sisteme integrate de proiectare și execuție conduse cu ajutorul calculatorului. Toate acestea impun elaborarea de tehnologii de proiectare asistată pentru realizarea de proiecte tehnice pe baza analizei de variante structurale de mașini-unelte, centre de prelucrare, celule și sisteme flexibile de fabricație.

Utilizarea integrată a calculatorului atît în sectoarele de activitate ale întreprinderii care sînt în legătură directă cu procesul de producție, cît și în cele în care se desfășoară activitățile preliminare fabricației (în compartimentele de cercetare — dezvoltare, proiectare, planificare, lansare), cuprinde:

— proiectarea constructivă asistată de calculator (CAD — Computer Aided Design);

— proiectarea tehnologică și programarea asistată de calculator (CAP — Computer Aided Planning);

— prelucrarea (fabricația) asistată de calculator (CAM — Computer Aided Machining (Manufacturing);

— controlul tehnic de calitate asistat de calculator (CAQ — Computer Aided Quality);

— service asistat de calculator (CAS — Computer Aided Service).

Fiecare dintre aceste componente reprezintă deja o tehnologie aflată într-un stadiu mai mult sau mai puțin avansat de constituire și aplicare în industrie. Cercetările actuale au ca obiectiv de perspectivă corelarea lor din punct de vedere metodologic și al mijloacelor de realizare efectivă astfel încît, practic, toate sectoarele de activitate ale unei întreprinderi să fie legate între ele prin fluxul automatizat de informații tehnice, economice și organizatorice.

2. Direcții de desfășurare a activității de cercetare-proiectare-producție asistată de calculator în I.C.S.I.T.M.U. București

La nivelul economiei naționale în etapa actuală modernizarea activității productive se bazează pe cibernetizare, electronizare și automatizare complexă. Realizarea celulelor și sistemelor flexibile de prelucrare răspunde acestor imperative în industria constructoare de mașini.

Scanned with OKEN Scanner

Din considerente de ordin tehnic și economic, concepția și dezvoltarea sistemelor flexibile de prelucrare trebuie să aibă la bază și să valorifice principiile de modularizare, tipizare, ierarhizare în structură multinivel, integrare în sistemul de organizare și conducere a producției, minimizare a volumului operațiilor de vehiculare a materialelor în sisteme.

Ținînd seama de aceste principii în cadrul ICSITMU București, care îndeplinește rolul de coordonator tehnic al subramurii de mașini-unelte în R.S.R., a fost elaborat „Programul de sisteme flexibile de prelucrare prin așchiere și deformare la rece a metalelor pentru perioada 1986—1990" avînd două secțiuni reactualizate anual pe baza noilor rezultate și a solicitărilor beneficiarilor interni și externi:

A. Programul de realizare de celule și sisteme flexibile de prelucrare prin așchiere și deformare plastică la rece, pentru perioada 1986—1990.

B. Programul de asimilare a modulelor componente ale sistemelor flexibile, și anume:

— mașini-unelte așchietoare și mașini-unelte pentru deformare la rece;

— module tipizate pentru scule și portscule, inclusiv manipularea și controlul lor;

— module tipizate pentru piesele de prelucrat, privind transferul, manipularea, controlul și depozitarea lor;

— module tipizate de comenzi și acționări pentru mașini-unelte, transfer, manipulare, control, depozitare;

— module tipizate de comenzi pentru celule și sisteme flexibile de prelucrare (inclusiv software de bază și de aplicații);

— module tipizate pentru instalații auxiliare de evacuare, așchii, debavurare, spălare piesă-sculă, lichide de răcire, termostatare, protecția muncii etc.

Prin acest program se prevede realizarea de module tipizate prin a căror compunere să poată fi alcătuite celule și sisteme flexibile de prelucrare adaptate la necesitățile tehnologice specifice beneficiarilor. În fig. 6.1—6.6 se prezintă o serie de tabele sinoptice care ilustrează amploarea și complexitatea programului. Ele oferă o imagine nelimitativă asupra conținutului și diversității utilajelor, echipamentelor și soluțiilor constructive care trebuie concretizate în cadrul fiecăreia din familiile de module enumerate mai sus.

Pe baza acestora se asigură într-o concepție unitară realizarea de celule, linii automate și sisteme flexibile de prelucrare, dintre care unele au fost deja implementate și sînt exploatate cu bune rezultate la beneficiari din țară și de peste hotare.

Au fost de asemenea realizate în institut două sisteme experimental — productive care permit efectuarea de analize tehnico-economice și metodologice și formarea personalului concomitent cu verificarea unor noi soluții constructive și tehnologice, precum și cu testarea funcțiilor de control automat, monitorizare și diagnoză.

Pe parcursul lucrărilor de cercetare-dezvoltare, care se încadrează în programul menționat, au apărut o serie de dificultăți datorate următoarelor cauze:

Scanned with OKEN Scanner

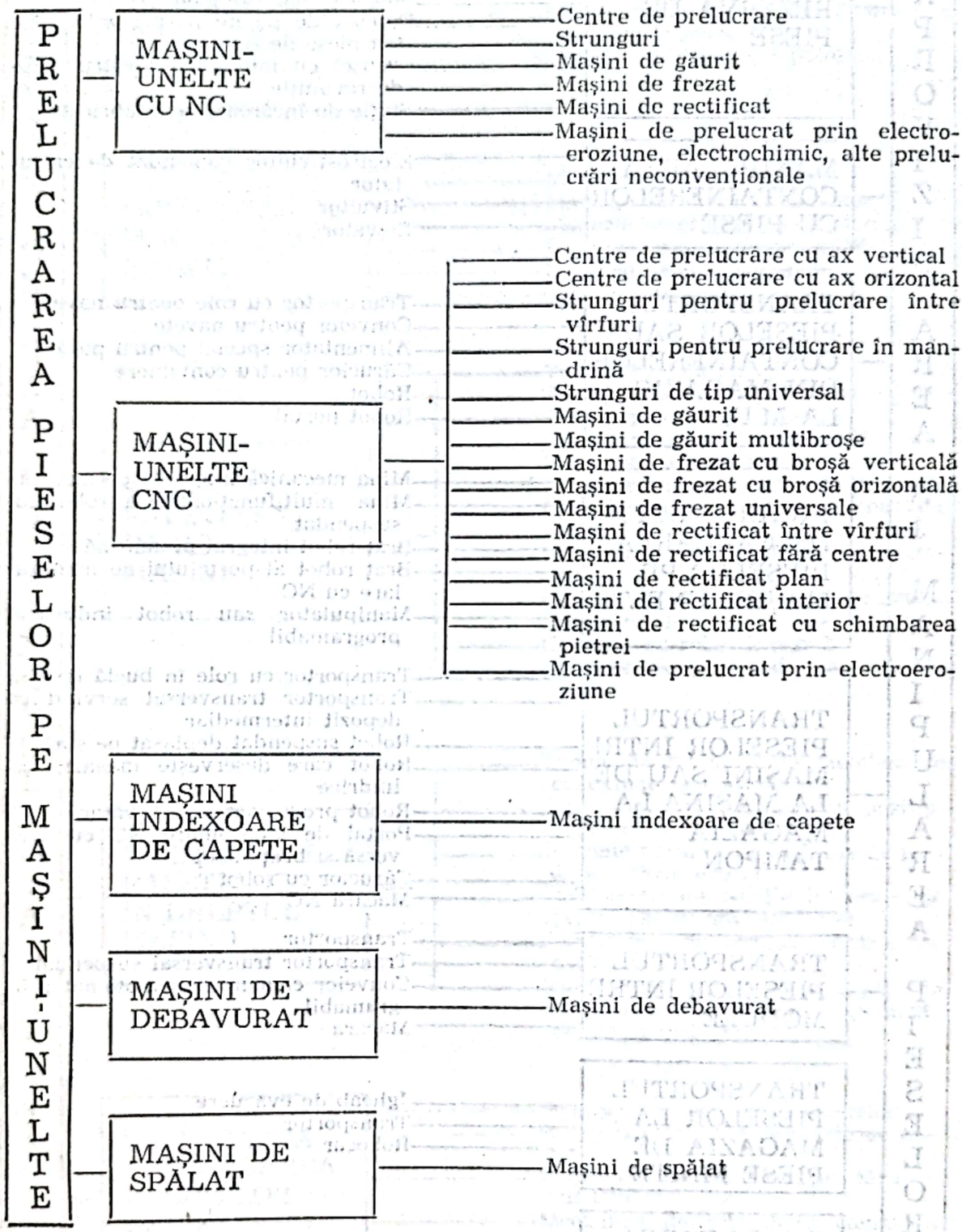


Fig. 6.1.

Scanned with OKEN Scanner

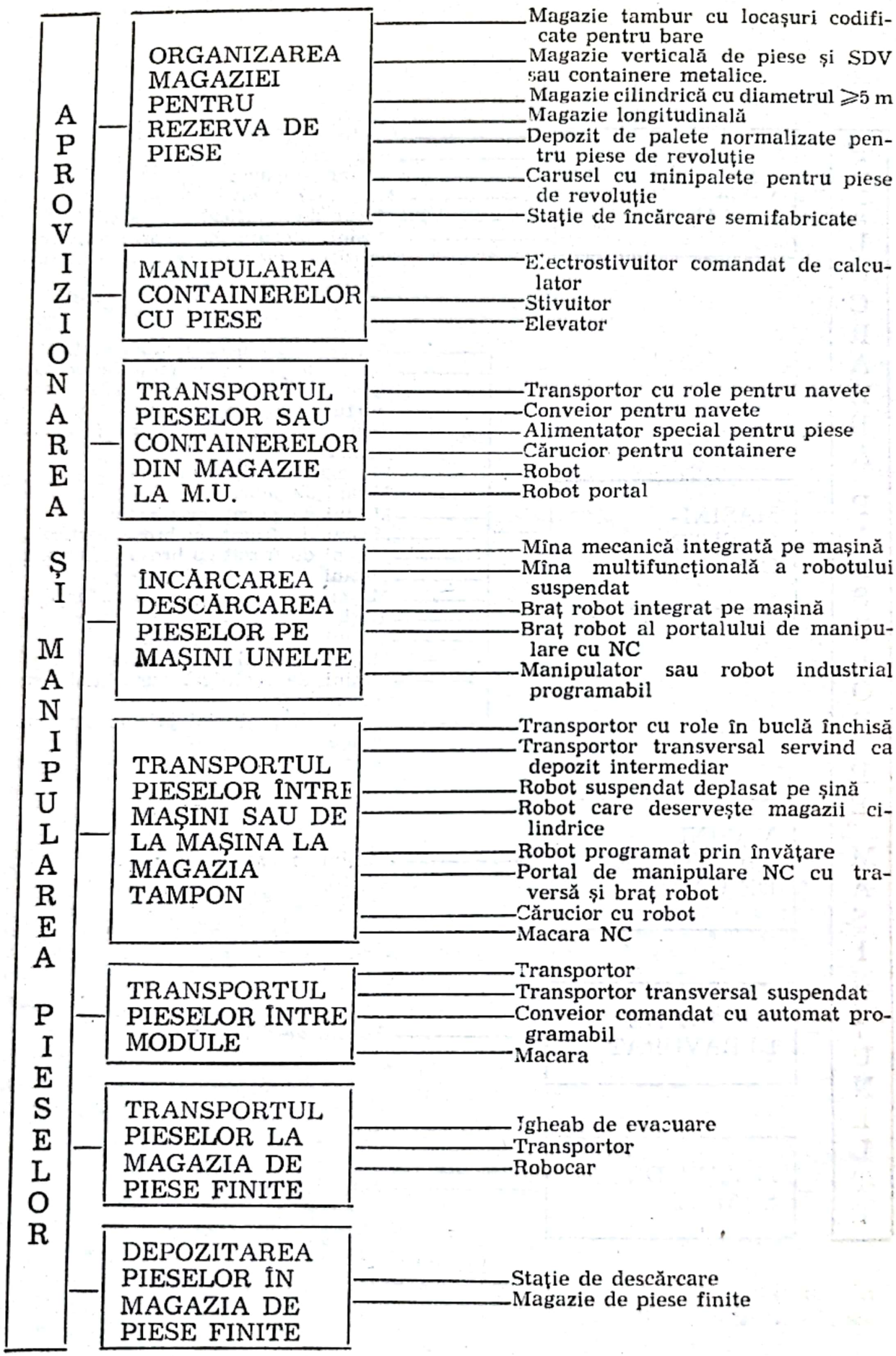


Fig. 6.2.

Scanned with OKEN Scanner

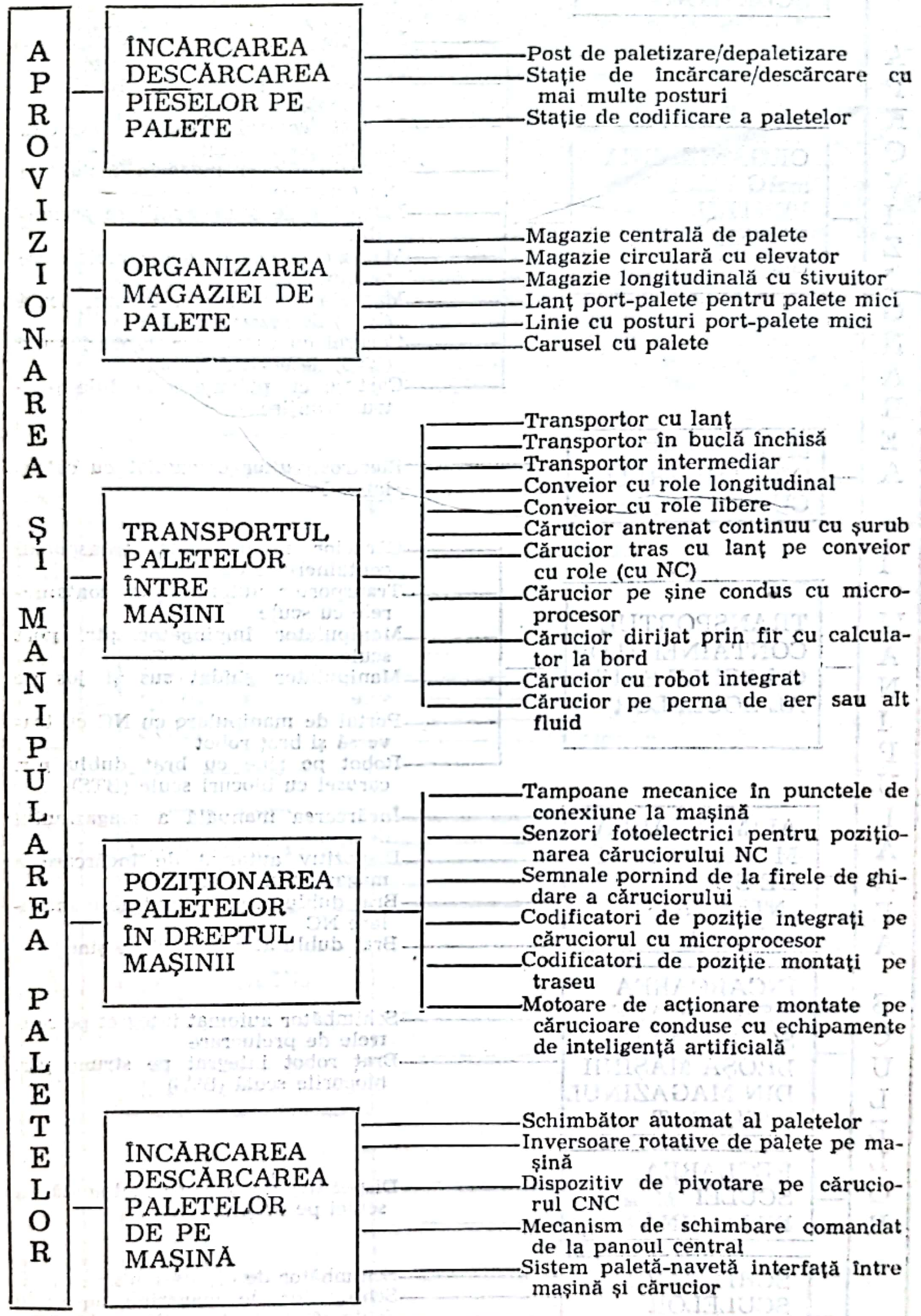


Fig. 6.3

Scanned with OKEN Scanner

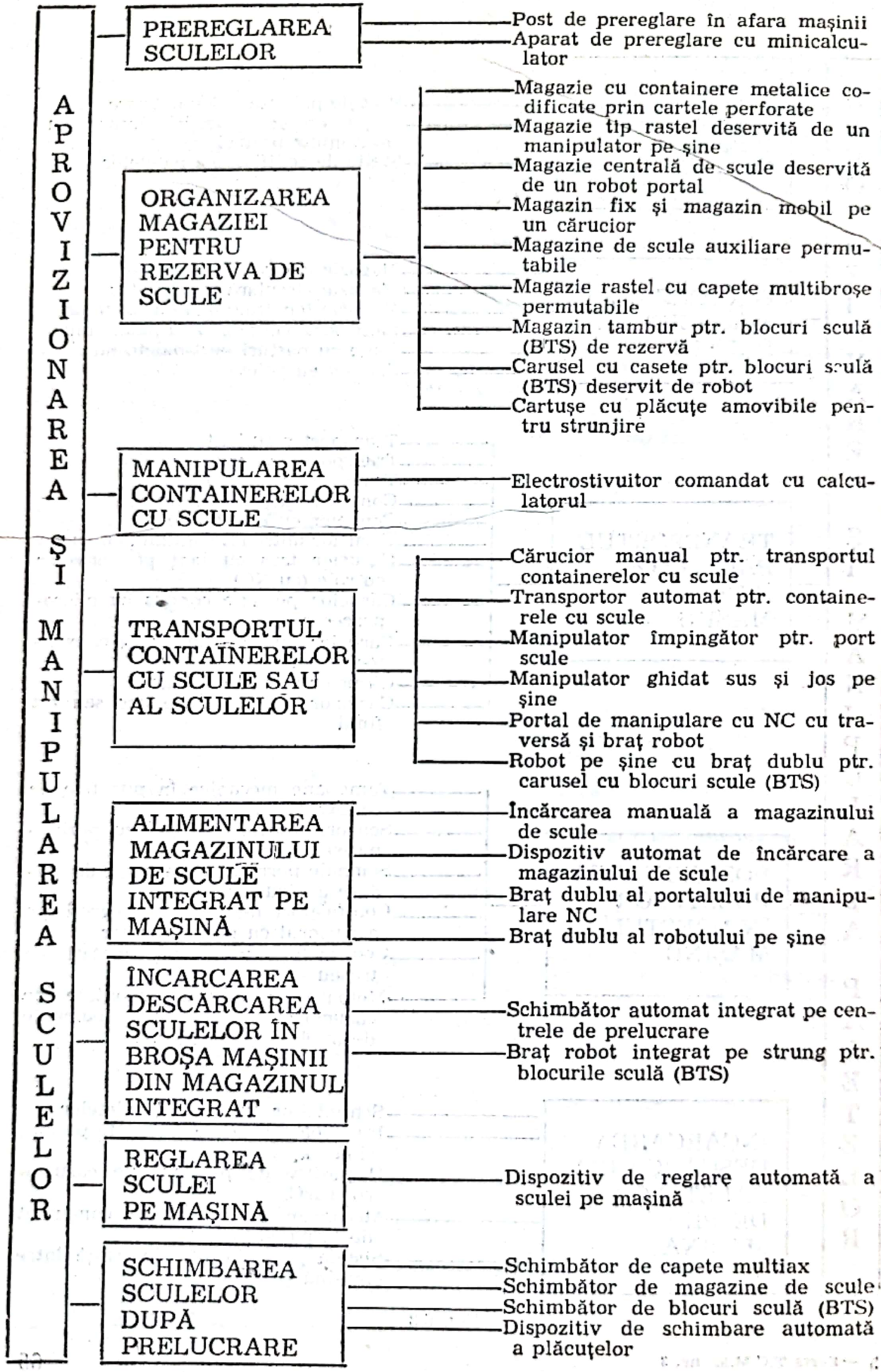


Fig. 6.4.

Scanned with OKEN Scanner

— lipsa unor componente, subansambluri și echipamente cu caracteristici constructive și performanțe funcționale adecvate pentru utilizarea lor în C.F.P. și S.F.P., asimilate în fabricație la scară industrială;

— inexistența unor rezolvări unitare ale problemelor de interfațare a modulelor (mașini și utilaje, scule, acționări, echipamente de comandă și reglare, echipamente de calcul).

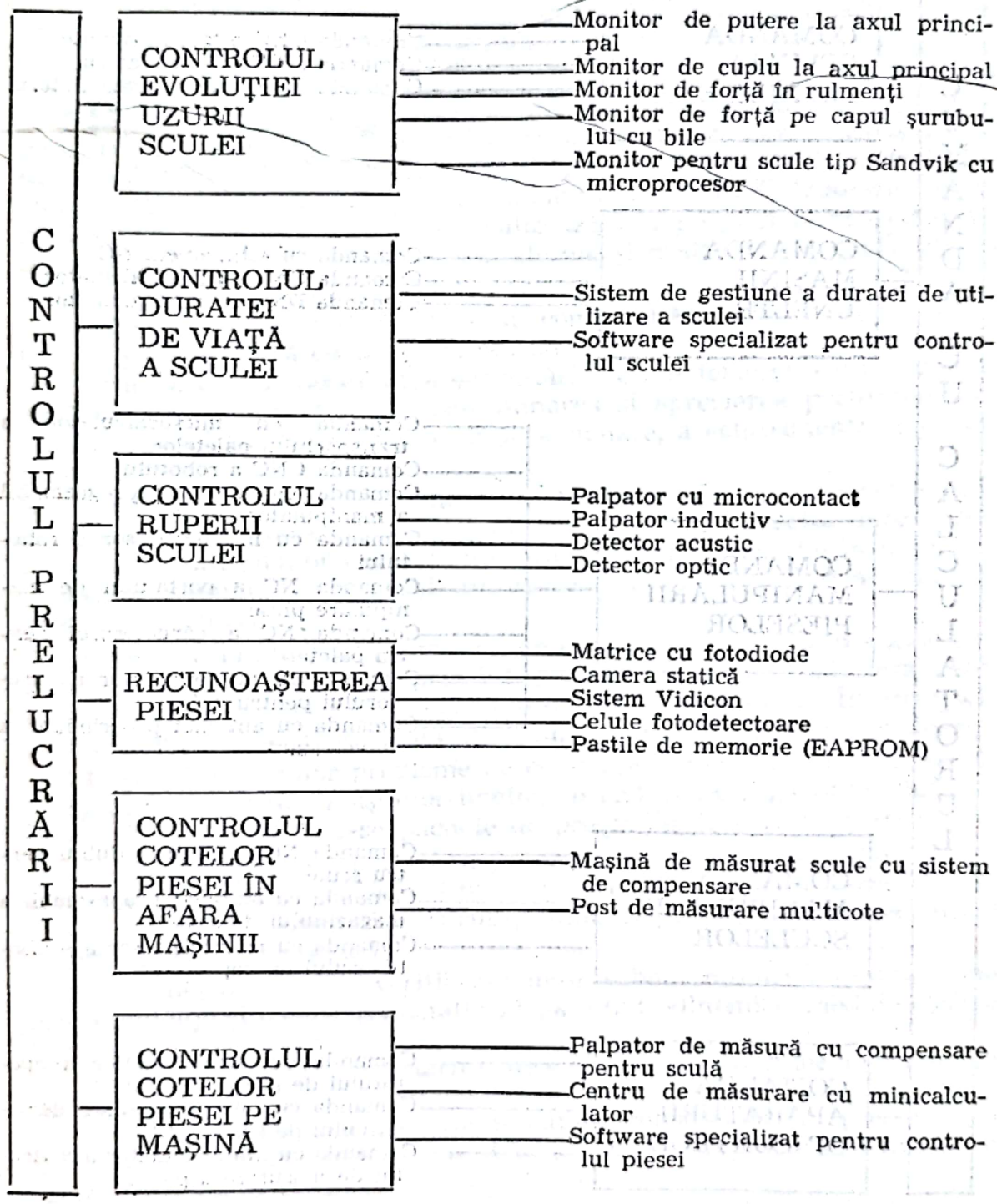


Fig. 6.5.

Scanned with OKEN Scanner

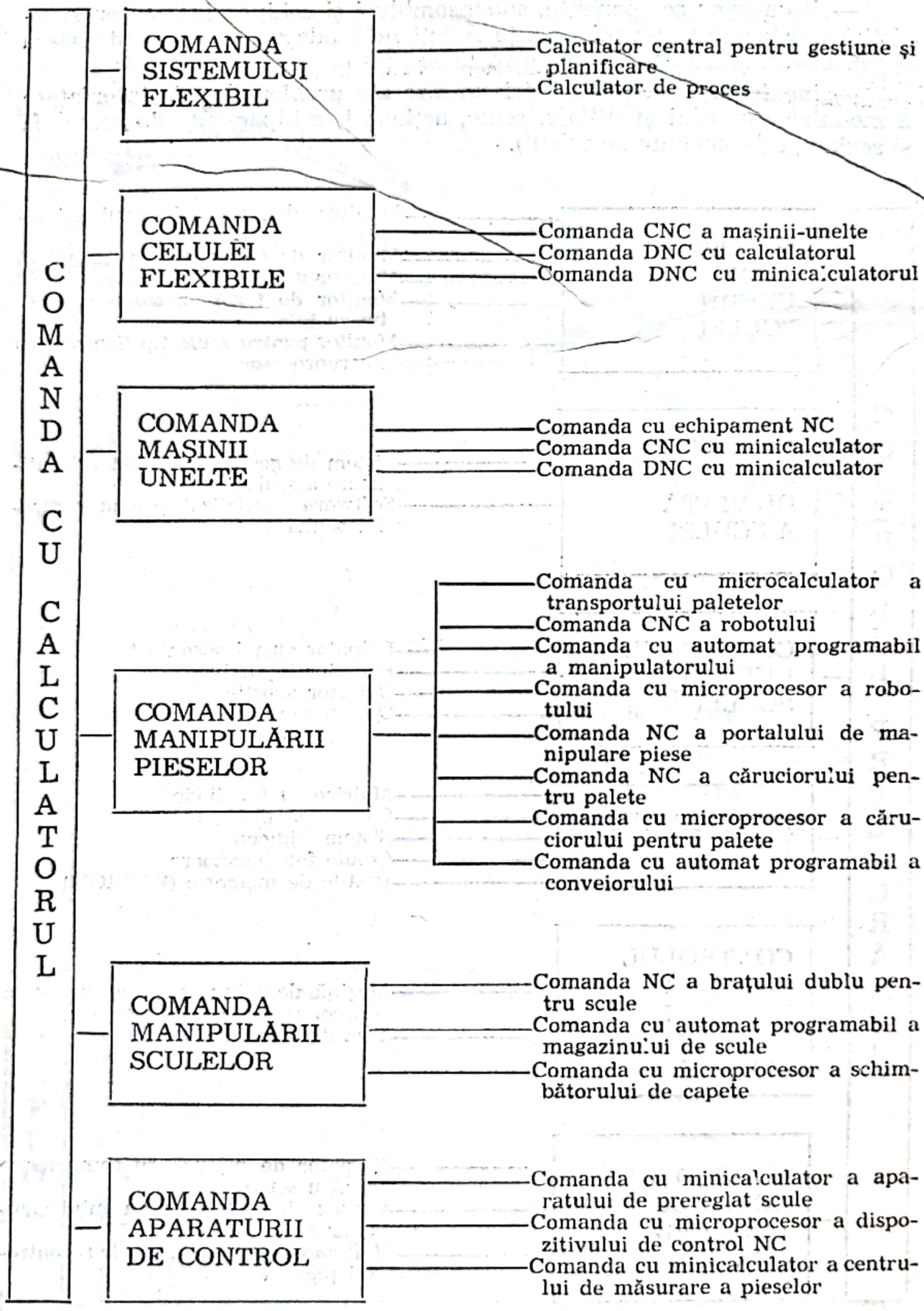


Fig. 6.6.

Scanned with OKEN Scanner

Date fiind complexitatea și costurile ridicate ale celulelor și sistemelor flexibile de prelucrare, eficiența lor economică depinde într-o foarte mare măsură de fiabilitatea pe care o au. În acest context, fiabilitatea unor componente, echipamente și subansambluri poate fi satisfăcătoare pentru mașinile și utilajele exploatate individual, dar nu mai corespunde exigențelor impuse de automatizarea flexibilă a procesului de prelucrare.

În contextul arătat, în colaborare cu specialiștii din alte unități de cercetare științifică și inginerie tehnologică, din întreprinderi și din institute de învățămînt superior au fost elaborate teme și programe concrete de cercetare și asimilare a unor noi generații de elemente și echipamente destinate automatizării flexibile a fabricației.

Pornind de la Programul de sisteme flexibile de prelucrare, la I.C.S.I.T.M.U., în colaborare cu alte institute de cercetare științifică și inginerie tehnologică, au fost analizate un număr de peste 20 celule și sisteme flexibile, stabilindu-se prioritățile de realizare atît în cadrul modulelor cît și în ceea ce privește sistemele în ansamblu. Colaborarea interdisciplinară în acest domeniu se realizează atît pe plan intern cît și pe plan extern, în cadrul planurilor bilaterale și multilaterale convenite cu unități de profil din țările C.A.E.R.

Odată cu creșterea preciziei și complexității mașinilor-unelte cu C.N.C. și în legătură cu introducerea lor în celule și sisteme flexibile de prelucrare a apărut necesitatea dezvoltării de noi teste și a unor metode de încercare care să permită determinarea și aprecierea performanțelor acestor mașini ca și a elementelor de acționare, a echipamentelor de comandă etc.

Dacă pentru mașinile-unelte se poate spune să s-au elaborat metode general acceptate de testare și recepționare, care fac obiectul unor norme naționale și internaționale, pentru celule și sisteme flexibile în ansamblu problema rămîne deschisă și rezolvarea ei constituie încă una din preocupările noastre.

Creșterea productivității muncii de concepție și a calității noilor produse complexe se realizează prin integrarea pe scară tot mai largă a tehnicii de calcul în procesul de cercetare-proiectare-producție. În acest sens a fost abordată o problematică complexă, orientată în următoarele direcții:

1. Rezolvarea unor probleme de cercetare științifică și inginerie tehnologică în domeniul mașinilor-unelte, în cadrul I.C.S.I.T.M.U. elaborîndu-se și implementîndu-se pachete de programe de calcul pentru:

— dimensionarea și verificarea organelor și subansamblurilor mecanice (angrenaje de diferite tipuri, axe și arbori, arcuri came, lunete, arbori principali, transmisii șurub-piuliță, lăgăruiri, lanțuri cinematice principale și de avans etc.);

— dimensionarea și verificarea unor subansambluri hidraulice specifice (ghidaje și lagăre hidrostatice, lagăre hidrodinamice, module electrohidraulice de acționare);

— determinarea comportării statice, dinamice și termice a structurilor de mașini-unelte;

— prelucrarea datelor experimentale referitoare la: precizia geometrică și de lucru, fiabilitatea și urmărirea în exploatare a mașinilor, zgomot și vibrații etc.;

Scanned with OKEN Scanner

— simularea cu ajutorul calculatorului a funcționării și comportării statice și dinamice a unor subansambluri și instalații aferente mașinilor-unelte (de exemplu: instalații hidraulice, mecanisme de paletare etc.);

Metodele și programele de calcul au fost verificate prin experimentări efectuate atît în condiții de laborator cît și în condiții reale de exploatare a mașinilor și utilajelor.

2. Elaborarea automată a documentațiilor de execuție pentru elementele cu repetabilitate frecventă.

Baza de date creată conține simboluri și reprezentări grafice, module macro pentru diferite tipuri de prelucrări, standarde și norme de proiectare. Folosind aceste date s-au elaborat pachete de programe pentru trasarea automată a desenelor de execuție pentru piese de tip: roată dințată, arbore, arc elicoidal, camă, piuliță (inclusiv piesa de recirculare) pentru șuruburi cu bile, curea dințată, reductor, batiu, montant, sanie (pentru unități tipizate de lucru), scheme hidraulice.

Stocarea desenelor pentru elementele de mașini prezentate anterior, elaborate automat în baza de date de desenare, permite apelarea lor, la cerere, în funcție de necesitățile utilizatorilor. Activarea programelor de verificare a datelor necesare desenării facilitează modificarea unei configurații deja existente în baza de date, obținîndu-se noi tipuri de repere, desenate automat, care îmbogățesc baza de date cu aportul minim al proiectantului.

3. Programarea automată a mașinilor-unelte cu comandă numerică.

Alcătuit din 5 module (traducere, aritmetic, strunjire și filetare, găurire și operații tehnologice complexe, editare), procesorul ROM-APT, elaborat în institut, permite definirea elementelor geometrice, descrierea mișcărilor sculei, determinarea regimurilor de așchiere și a ciclurilor tehnologice complexe.

Procesorul ROM-APT a fost utilizat atît în programarea automată a mașinilor-unelte cu NC pentru prelucrarea unor piese cu profil complex (roți de vagon, forma de turnare a lentilelor solare etc.), cît și ca instrumente de proiectare pentru elaborarea unor programe de calcul al camelor plane (came șablon și etalon).

4. Organizarea băncii de date tehnico-economice specifice domeniului construcțiilor de mașini-unelte.

Banca de date permite informarea completă și complexă atît a proiectanților, prin cunoașterea performanțelor tehnice și economice ale unor tipuri de mașini proiectate și realizate anterior în țară sau din diferite firme străine, cît și a cadrelor superioare de decizie, pentru orientarea politicii de urmat în domeniul mașinilor-unelte.

Extragerea rezultatelor se poate face după criterii de selectare aleatoare, constituite din oricare din informațiile cuprinse în bază, funcție de solicitările utilizatorului.

Ca tipuri de cereri de regăsire se pot enumera:

— pentru un tip de mașină: caracteristici comparative, parametri tehnico-economici, soluții tehnice adoptate, accesoriile normale și speciale folosite;

— tipuri de mașini fabricate de o anumită firmă sau țară;

— tipuri de mașini avînd aceleași caracteristici.

Scanned with OKEN Scanner

În vederea realizării cu precădere a sarcinilor ce revin institutului privind extinderea gamei de produse ce pot fi ofertate pe piața internațională, banca de date existentă este în curs de completare cu noi module care să permită elaborarea automată a documentației de ofertare pentru mașini-agregat, linii automate, celule și sisteme flexibile de prelucrare.

5. Prelucrarea automată a datelor în activitățile de lansare, urmărire și gestionare economică a producției.

Subsistemele proiectate permit urmărirea procesului de producție, avînd ca obiectiv cunoașterea în orice moment a stadiului realizării acesteia.

Problematica complexă de cercetare-proiectare-producție abordată de institut va fi dezvoltată în perioada imediat următoare, în ideea integrării complete într-un sistem unitar specific mașinilor-unelte.

Pornind de la sarcinile ce revin institutului de a realiza sisteme flexibile de fabricație, întreaga activitate în domeniul cercetării-proiectării asistate de calculator va fi subordonată realizării unui concept de fabricație integrată cu ajutorul calculatorului în vederea implementării sale în întreprinderile constructoare de mașini din țara noastră și ținînd cont totodată de programele complexe de colaborare tehnico-științifică în acest domeniu în cadrul CAER.

În vederea realizării acestui deziderat, direcțiile principale de dezvoltare a cercetării proiectării asistate de calculator vor fi:

— realizarea de rețele de calculatoare pentru conducerea sistemelor flexibile de producție (cu accent pe unificarea interfețelor și a posibilităților de comunicare);

— realizarea unui sistem modular de software de comandă cu calculatorul a celulelor și sistemelor flexibile de prelucrare;

— elaborarea de software pentru echipamentele CNC ce vor intra în componența sistemelor flexibile de fabricație;

— elaborarea asistată de calculator a tehnologiilor;

— extindera prelucrării pe calculator a datelor experimentale în mod ON LINE;

— elaborarea de software pentru stabilirea stării de funcționare a sistemului;

— dezvoltarea de sisteme de modelare — simulare a funcționării unor elemente componente și a sistemului flexibil de fabricație;

— dezvoltarea software-ului sistemelor grafice cu facilități interactive pentru prelucrarea imaginilor;

— elaborarea de sisteme expert asociate proiectării și exploatării sistemelor flexibile de producție.

3. Concluzii

În ultimii ani ca tendință dominantă în domeniul mașinilor-unelte s-a impus realizarea și implementarea în industrie a sistemelor flexibile de prelucrare, în cadrul cărora conducerea proceselor cu ajutorul calculatorului devine o caracteristică esențială.

Scanned with OKEN Scanner

Sistemele flexibile de prelucrare implică un proces de conducere multinivel, realizat la nivelul întreprinderii, a producției, al proceselor și a utilajelor, fluxul informațional parcurgînd aceste niveluri în mod bidirecțional.

Producția automatizată flexibil presupune utilizarea celor mai noi metode și tehnologii în domeniul mecanicii, electrotehnicii și electronicii, tehnicii de calcul și informaticii, mergînd pînă la utilizarea inteligenței artificiale. În acest context s-a cristalizat conceptul de fabricație integrată cu calculatorul.

În consens cu tendințele de evoluție pe plan mondial și pornind de la necesitățile economiei naționale în cadrul ICSITMU — BUCUREȘTI a fost elaborat „Programul de celule și sisteme flexibile de prelucrare prin așchiere și prin deformare la rece a metalelor" în baza căruia se desfășoară ample lucrări interdisciplinare de cercetare științifică și inginerie tehnologică în acest domeniu. În același timp au fost create premizele pentru dezvoltarea în perspectivă și implementarea de sisteme integrate de inginerie tehnologică și fabricație asistate de calculator.

Scanned with OKEN Scanner

7

Coeficientul de frecare de alunecare-evoluţia şi utilitatea sa*

Prof. dr. doc. şt. ing. *Dan Pavelescu*
Dr. ing. *Andrei Tudor*
Institutul Politehnic Bucureşti

Acest studiu a fost efectuat pentru a lămuri o apreciere făcută de Braitwaite în anul 1978 [1], şi anume: „Cred că termenul *coeficient de frecare* şi-a *servit utilitatea* şi va fi eventual *de interes numai istoric* . . .".

În această sinteză* ne-am referit numai la o parte din numeroasele lucrări ce s-au publicat.

1. Domeniul teoriilor şi legilor frecării

Perioada „istorică" a coeficientului de frecare. Această perioadă XVI—XVIII) — care a impus conceptul de „coeficient de frecare" şi a influenţat în această privinţă gîndirea şi practica tribologică din perioadele următoare — începe cu activitatea de pionerat a lui Leonardo da Vinci asupra frecării uscate, a teoriei mecanice şi a primei valori semnalate (0,25) a coeficientului de frecare (μ_a) [2, 3].

Apreciem că „apogeul" îl reprezintă perioada 1779—1785 de cercetări a lui Ch. Coulomb, care a continuat pe cele ale lui Amontons (1699) [3, 10, 11]. Aceste activităţi au avut ca rezultat o primă lege a frecării uscate, şi anume

$$F_f = \mu_a F_n \qquad (1)$$

(F_f — forţa de frecare; F_n — forţa normală), denumită diferit: „legea lui Leonardo da Vinci — Amontons" [9, 12], „legea Amontons-Coulomb" [3, 6, 13], „legea Coulomb" sau „legea Amontons" [13].

Consecinţa ei este dependenţa coeficientului de frecare la alunecare μ_a de cele două forţe:

$$\mu_a = \frac{F_f}{F_n} \qquad (2)$$

* Sinteză a studiului prezentat la cea de-a V-a Conferinţă a specialiştilor în frecare, uzare, ungere, TRIBOTEHNICA '87, cu participare internaţională, Bucureşti, 24—26 septembrie 1987.

Scanned with OKEN Scanner

Prin rezultatele lor experimentale, G. Rennie (1829) și R. M. Deeley (1914) au „zdruncinat" părerile inițiale cu privire la menținerea unei valori constante a lui μ_a cu viteza și presiunea [2].

Perioada de dependență a coeficientului de frecare de alte teorii ale frecării simple sau mixte *(sec. XVIII—XX).* Perioada „noilor teorii ale frecării", dezvoltate pe măsura cunoașterii corpului solid deformabil, a reprezentat o adevărată revoluție în gîndirea tribologică. A fost menținut conceptul, dar a fost perfecționată natura și forma coeficientului de frecare.

Concepția naturii moleculare a frecării, avînd ca prim reprezentant pe Dezaguillet (1734) și care a progresat apoi prin Ewing (1892), Hardy (1919—1936), Tomlinson (1929), Deriaghin (1934), Khaikin (1939) etc. [4—8], a fost urmată de mult cunoscuta teorie a *punților de sudură* (a *microjoncțiunilor),* elaborată de Bowden și Tabor (1939—1940) [4]; aceasta s-a impus, deși i s-au adus și unele critici [14, 15]. S-a ajuns astfel tot la o formă simplă:

$$\mu_a = \tau_f / p_c, \tag{3}$$

dar ca raport dintre rezistența la forfecare τ_f a microjoncțiunilor și presiunea de curgere p_c a materialului mai moale.

O altă contribuție importantă în elucidarea frecării a fost adusă de teoriile *deformației elastice sau/și plastice;* după Leslie (184), sînt de menționat Hirn (1884), Gümbel (1925), Tomlinson (1929) și Archard, Holm, Drescher în perioada 1957—1959 [2, 3, 5, 16].

Natura „mixtă" a frecării, începînd cu aceea molecular-mecanică, a preocupat pe mai mulți cercetători în perioada 1924—1965 și după, începînd cu Gümbel (1925) [6]. Este mai bine cunoscută relația cu doi termeni scrisă de Ernst și Merchand (1940) [6], completată de Bowden și Tabor (1954) [4] prin termenul datorat îndepărtării materialului mai moale.

După Kraghelski (1939) [5], coeficientul de frecare trebuie să aibă o componentă de adeziune μ_{ad} și una de deformație μ_{def}.

De remarcat totuși că, anterior, Holm (1938) [16] a introdus noțiunea de „forță specifică de frecare" ($\psi_s = F_a / A_s$, A_s — aria de contact încărcată; F_a — forța de rezistență la alunecare) și a exprimat coeficientul de frecare astfel:

$$\mu_a = \psi_s / p \tag{4}$$

(p — presiunea de contact de alunecare). Totodată a prezentat și un model, mai apropiat de real, considerînd că forța de frecare poate avea patru componente (de forfecare a adeziunilor și a punților de sudură, a rugozităților în interacțiune, precum și a deformațiilor elastice și plastice).

În cazul unor *suprafețe rugoase* și avînd în vedere parametrii ν, b ai curbei de portanță Abbott-Firstone, Kraghelski [6] a ajuns — pentru calculul coeficienților de frecare — la *relații complexe* pentru deformații elastice și plastice, care totuși pot fi utilizate. Spre exemplu, pentru deformații elastice,

$$\mu_a = \frac{2{,}1\tau_f E_e^{-4/5}}{p_c^{1/5}\Delta^{2/5}} + \beta + 0{,}23\ \alpha\ p_c^{1/5}\Delta^{2/5}E_e^{-1/5} \tag{5}$$

Scanned with OKEN Scanner

(E_e — modul de elasticitate echivalent; $\Delta = h_{max}/rb^{1/2}$, h_{max} — înălțimea maximă a rugozităților de rază echivalentă r; α_H — coeficient de histerezis, β — piezocoeficient, funcții de material; τ_f, β, α_H etc., se obțin tabelar).

Într-o lucrare mai recentă [17] (1984) Saka și colaboratorii au arătat că μ_a poate varia mult în funcție de rugozitate și de condițiile suprafeței, iar cele trei componente ale sale (de adeziune, deformare și brăzdare) se comportă diferit în șase stadii (funcție de starea de deformație, adeziune, duritate, uzură etc.). De menționat că, anterior, pentru componentele de adeziune și, respectiv, de brăzdare, au fost propuse relații, destul de complexe, de către Challen și Oxley [18] (1979). Sînt interesante variațiile coeficientului de frecare cu presiunea aparentă de contact p_a (α — unghiul asperităților; f — raportul dintre rezistența la forfecare a suprafeței mai dure și cea mai moale; k — tensiunea de curgere fig. 7.1 [18]).

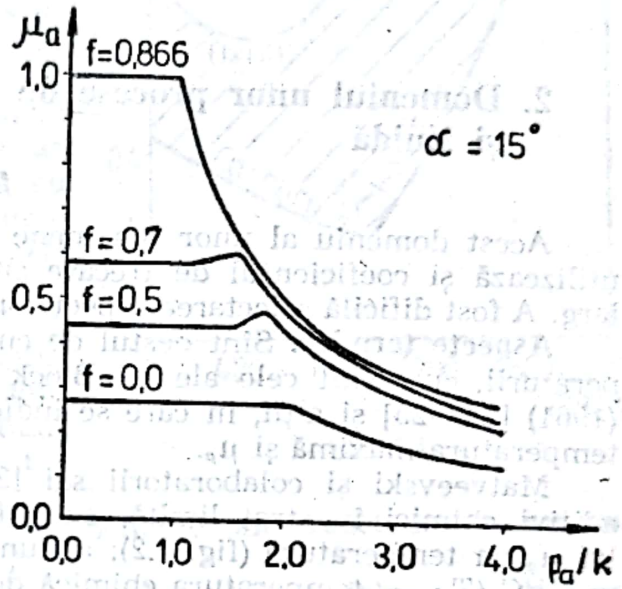


Fig. 7.1.

Gîndirea „energetică" a frecării constituie o altă parte importantă a perioadei teoriilor frecării. Încă din anul 1704, anterior deci lui Coulomb, Parent și apoi Euler (1784) [3, 5] au sesizat că se consumă o anumită energie prin frecare. În perioada 1954—1984 s-a dezvoltat treptat o *teorie energetică* a frecării-uzării; au contribuit și în acest caz o serie de autori, începînd cu Davies și Kuznețov (1954) [2—6, 19—21].

Amintim expresia dată de Rabinowicz (1965) [19] pentru coeficientul de frecare static:

$$\mu_s = 0{,}3 + C_1 W_{ab}/H_p \tag{6}$$

(C_1 — constantă; H_p — duritatea de pătrundere și $W_{ab} = C_2(\gamma_a + \gamma_b)$ — energia de aderare a suprafețelor; C_2 — constantă funcție de materiale compatibile sau incompatibile iar $\gamma_{a,b}$ — energii de suprafață); o serie de valori ale μ_s au fost obținute experimental.

În schema proceselor energetice ce au loc în frecare, Kostețski (după anul 1968) a introdus ca parametrii importanți și coeficienții de frecare ai structurilor secundare μ_{ss} și ai materialului de bază μ_{BM} ale suprafețelor de contact [20].

Fleischer (1965—1969) [8, 9], după o analiză aprofundată a aspectelor energetice ale frecării, acceptă natura sa dublă mecanică-moleculară cu energiile necesare. Densitățile de energie critică (e_R) pentru tipurile respective de frecare și determinarea numărului contactelor la care are loc separarea legăturilor sînt totuși mai dificil de obținut. Reținem observația sa realistă asupra *pericolului generalizării valorilor tabelare*. Fleischer

Scanned with OKEN Scanner

este de părere, în mod just, că μ_a *nu este o proprietate a materialului sau a cuplei de frecare, ci un parametru care dă numai indicații asupra rezistenței la frecare* (la parametrii materialului, formei și de funcționare, perfect determinați) [9].

Pentru a explica producerea solzilor de uzură, conform teoriei delaminării a lui Suh [21] (1974), Don și Rigney [22] (1984) au utilizat un model energetic al frecării (exprimat de Heilman și Rigney în 1981) și au calculat coeficientul de frecare în funcție de grosimea stratului.

2. Domeniul unor procese de frecare uscată și fluidă

Acest domeniu al unor fenomene și probleme tribologice în care se utilizează și coeficientul de frecare sub diferite forme este deosebit de larg. A fost dificilă selectarea aspectelor caracteristice.

Aspecte termice. Sînt destul de cunoscute relațiile de calcul al temperaturii, cum sînt cele ale lui Block (1937 și după) [23], Kelly-Dudley (1961) [24—25] și alții, în care se indică o proporționalitate directă între temperatura maximă și μ_a.

Matveevski și colaboratorii săi [26] (1977), studiind acțiunea unor aditivi chimici în strat limită, au obținut o curbă tipică de variație a lui μ_a cu temperatura (fig. 7.2); acțiunea aditivilor se produce pe porțiunea BC (T_{ch} — temperatura chimică de formare a stratului chimic modificat, de echilibru; T_{cr} — temperatura critică a uleiului neaditivat).

Pentru procesul de frînare reține atenția lucrarea lui Chichinadze [17] (1975) prin care se ajunge la relația de dependență a coeficientului de frecare de timpul t (de altfel destul de complexă).

Comportarea la frecare a unor lubrifianți solizi. Fischer și Cron [28] (1985) au studiat efectul diferitelor amestecuri de MoS_2 și grafit pe oțel asupra valorii maxime a coeficientului de frecare, găsind că valorile μ_M

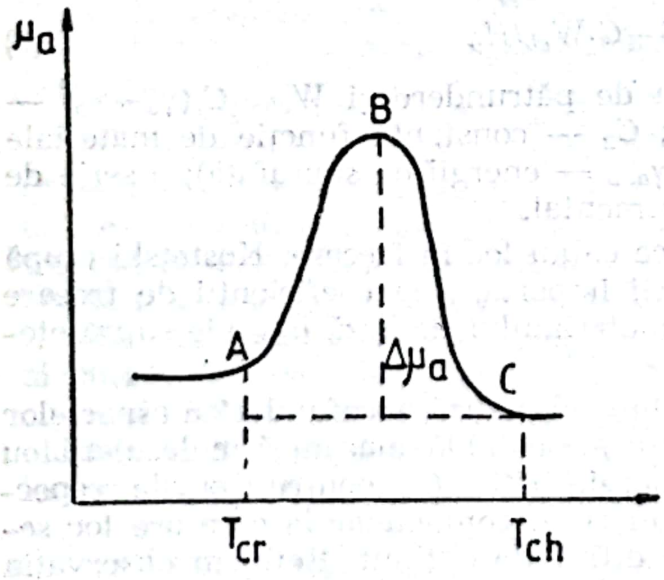


Fig. 7.2.

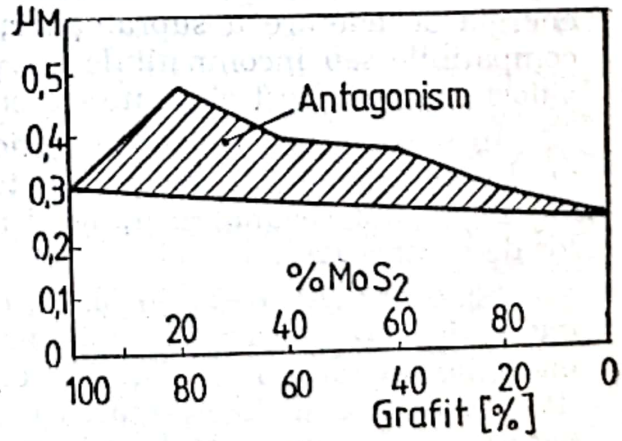


Fig. 7.3.

sînt superioare față de cazul acestor lubrifianți solizi luați separat. Zona haşurată din fig. 7.3 corespunde unui fenomen de antagonism.

În perioada anterioară s-a mai studiat, de diferiți autori, variația coeficientului de frecare cu presiunea de vapori (mmHg) a diferitelor gaze, la grafit, a umidității, vitezei și temperaturii pentru MoS_2, în domeniul temperaturilor înalte (peste 450°C), în atmosferă de hidrogen (pînă la 700°C) sau în vacuum (pînă la 1 100°C [29].

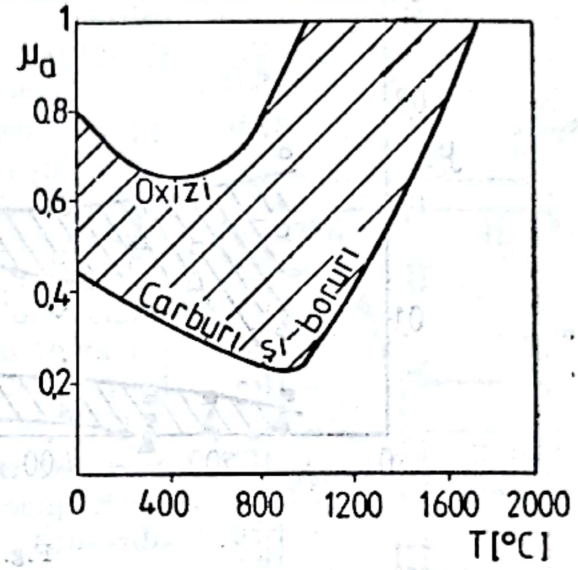


Fig. 7.4.

O problemă de actualitate este *influența vacuumului* asupra coeficientului de frecare, îndeosebi a vacuumului ultraînalt (10^{-10} torr), cînd se recurge numai la lubrifianți solizi. Încă din anul 1956 Johnson și Vaughn au constatat că, spre deosebire de grafit, μ_a al MoS_2 scade o dată cu presiunea. La un vacuum de numai 10^{-5} torr, Semenov și Kazura (1977) au obținut o scădere a lui μ_a pentru grafit după 700°C [30].

Totodată este deosebit de interesantă *influența dozelor de radiații* asupra duratei filmelor de lubrifiant solid și/sau modificarea coeficientului de frecare. Astfel s-a dovedit utilitatea MoS_2 în mecanismele componente ale reactoarelor nucleare (Daniel, 1965 [31]).

Comportarea unor materiale ceramice. Materialele din categoria *ceramice* sînt, de asemenea, de mare actualitate pentru rezistența lor la temperaturi ridicate. Glaeser [32] (1969) a arătat că pentru carburi, boruri și oxizi, coeficientul de frecare tinde să scadă pînă la o anumită temperatură (fig. 7.4).

Buckley și Miyoshi [33] (1984) au prezentat o sinteză cu aspecte tribologice ale materialelor ceramice. În cazul deformației plastice și a abraziunii (carburii de siliciu de către diamant) au obținut o lege exponențială a coeficientului de frecare de forma

$$\mu = KF_n^{(0,3\cdots0,4)}, \tag{7}$$

K fiind o constantă.

Este interesantă evoluția coeficientului de frecare cu sarcina pentru o cuplă fontă cenușie/ceramic, diferite viteze v și frecare uscată sau limită, obținută de Naga și colaboratorii săi [34] (1985) (fig. 7.5).

Dependența frecare-uzare. Mai mulți autori au considerat necesar să coreleze aspectele de frecare cu cele de uzare, îndeosebi comparînd *evoluția coeficienților de frecare cu aceea a intensității de uzare* I_u, sau a vitezei de uzare v_u [4—6, 20—22, 35] etc. Încercînd peste 100 de combinații de materiale, Archard și Hirst [35] (1958) au arătat că μ_a variază aproximativ de la 1 la 5, în timp ce I_u acoperă un domeniu mai larg (1/80 000). Lucrarea lui Dreier și Strickle [36] (1970) este tipică pentru condițiile de alegere a unei mase plastice adecvate, comparîndu-se evoluția lui μ_a și I_u

Scanned with OKEN Scanner

funcție de rugozitatea R_a, temperatura T [°C], p presiunea de contact [MPa] și durata t [h]. Un exemplu este dat în fig. 7.6; s-au remarcat și neconcordanțe între μ_a și I_u ca în cazul nylonului 6,6 (curba *1; 2* — poliformaldehidă; *3* — polietilenă; *4* — nylon+10% polietilenă).

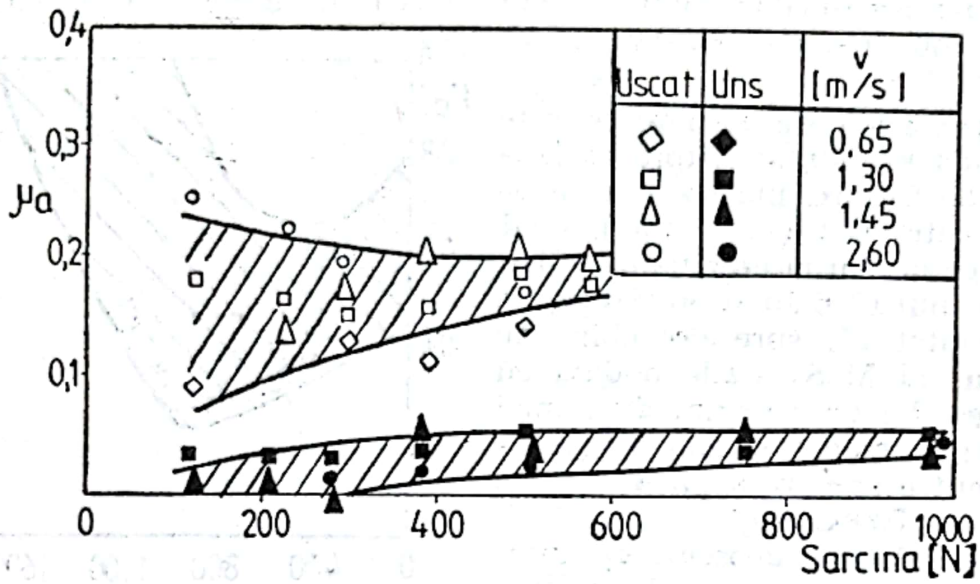


Fig. 7.5.

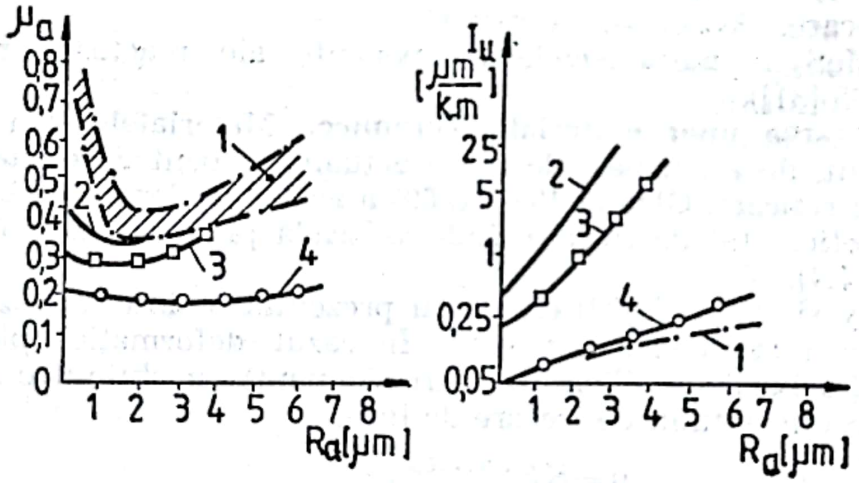


Fig. 7.6.

Este interesantă și prezentarea din [37] (1984), după De Gee și colaboratorii săi (1983), a variației lui μ_a cu timpul t [h] în trei regimuri de frecare-ungere și valorile coeficientului de uzură K (fig. 7.7).

Într-un proces complex, cum este cel de cavitație, mai mulți autori (Honda, Igorashi, Arndt, Ippen, Anton etc., 1976—1984) [38] ajung la posibilitatea exprimării coeficientului de cavitație σ_i într-o relație simplă de modelare:

$$\sigma_i = -C_{p\ min} + 16C_f \qquad (8)$$

(C_f — coeficientul de frecare a jeturilor de fluid; $C_{p\ min}$ — coeficientul de presiuni minime).

Scanned with OKEN Scanner

Fenomenul Stick-Slip (lipire-alunecare). Fenomenul observat de Wells (1929) și Thomas (1930) [38] a pasionat un număr foarte mare de cercetători de la „pionieri" la „clasici" [3—6, 19, 39—42] etc. Se părea că există unanimitate de păreri asupra faptului că $\mu_s > \mu_a$ și că dacă $\mu_s/\mu_a \geqslant \geqslant 0{,}95$ se produce Stick-Slip și deci alunecare cu intermitențe. Totuși Simkins [40] (1967) a ridicat anumite „îndoieli" insuficient fondate. În orice caz, prin măsurătorile deosebit de precise Pavelescu [41] (1978) și Li Chun Bo [42] (1982) au reconfirmat fără dubii părerea inițială.

Sînt menționate o serie de relații ale lui μ_s prezentate în perioada 1946—1983 [5, 6, 12, 39, 42] etc. În afară de uleiuri cu caracteristici de antistick-slip, în mai multe țări au fost realizate materiale pe bază de PTFE, MoS_2, pulberi metalice, rășini expodice etc., cu valori relativ reduse ale coeficientului de frecare, ca de exemplu DIMOX UM 40, după brevet ICECHIM, 1984 (0,05—0,1 lubrifiant și 0,09—0,12 uscat) [36].

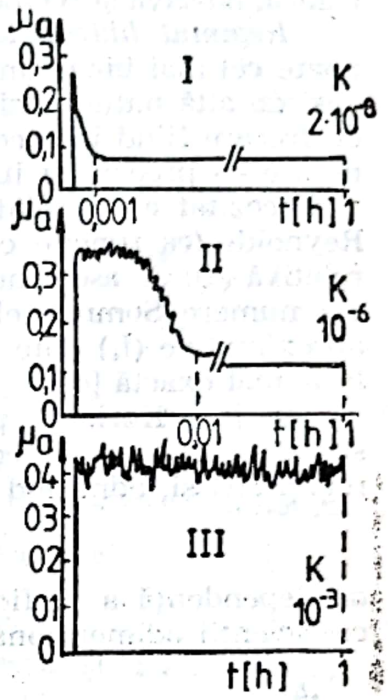


Fig. 7.7.

Frecarea în prezența celui de-al treilea corp (fluid). O primă categorie de preocupări se referă asupra frecării în prezența unui *film subțire limită* [29].

Sînt de menționat lucrările lui Georges și colaboratorii săi [43], (1974) care au urmărit — prin prisma variației coeficientului de frecare — comportarea unui film limită la creșterea numărului de rotații sau lungimii de frecare L_f (fig. 7.8), apariția uzurii (perioadele *2—3*) și apoi distrugerea filmului.

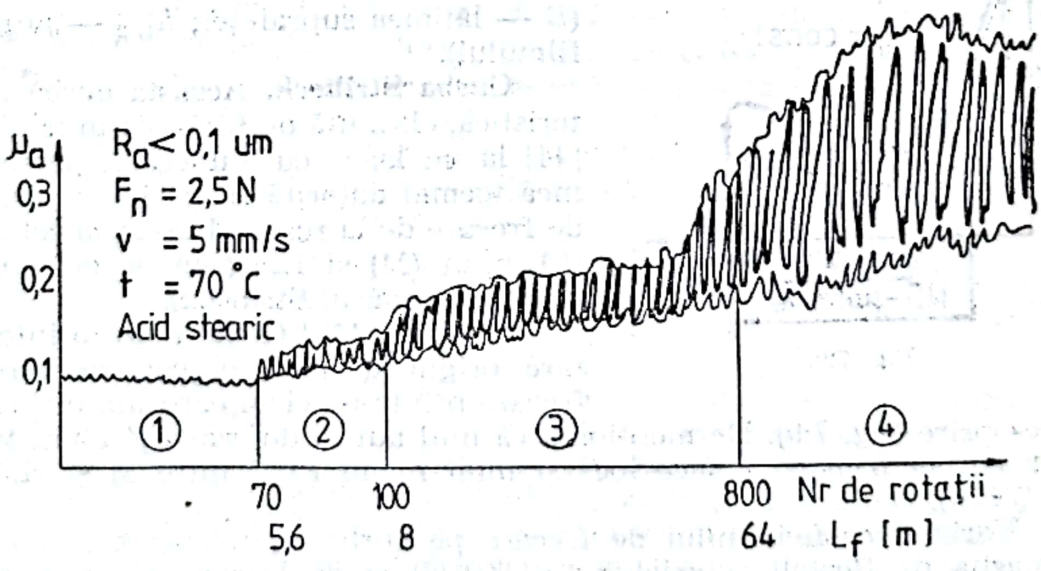


Fig. 7.8.

De altfel, un număr destul de mare de cercetători au studiat efectul diferiților lubrifianți, îndeosebi aditivați, cu viteza, sarcina, temperatura, concentrația etc., urmărind uzura și evoluția lui μ_a [15, 29, 44, 45 etc.].

Barwell a propus și o relație de calcul a lui μ_a pentru *ungerea mixtă*, care conține și funcția de viscozitate și viteza $f(\eta, v)$ [15]. Un model mai nou (Wernerowski, Gasiorowski) [45] (1985) prezintă componentele mecanică, adezivă și reologică ale lui μ_a.

Regimul hidrodinamic (HD) (devenit „centenar" în anul 1983) este poate cel mai bine cunoscut. În ceea ce privește coeficientul de frecare f, deși de altă natură fizică, a influențat mult atît relația veche (2) — forța de frecare fiind însă considerată la suprafața mobilă a unui lagăr cu alunecare — precum și ipoteza lui Petroff (1883) privind fusul concentric și η viscozitatea constantă în film. A urmat o relație a lui f obținută de Reynolds (ca funcție complexă de jocul relativ (ψ) și de excentricitatea relativă (ε); de asemenea a urmat relația Gümbel-Falz. Aceste relații pentru numere Sommerfeld $S_0>1$ și respectiv $S_0<1$ au influențat relațiile aproximative (f_v) date ulterior de Vogelpohl [46] (1958) și Tipei cu o soluție mai exactă [44].

În [47] Koriauli, plecînd de la expresia forței de tracțiune a două suprafețe rugoase în contact (frecare uscată), pune condiția deplasării în regim HD și, admițînd o relație Stefan-Reynolds, ajunge la expresia:

$$\mu = CS_0 + B/S_0 \qquad (9)$$

de dependență a coeficientului de frecare de numărul Sommerfeld și de coeficienții adimensionali C și B. Rezultatele experimentale au confirmat evoluția Stribeck în partea superioară a liniei Petrov în diagrama μ $(1/S_0)$.

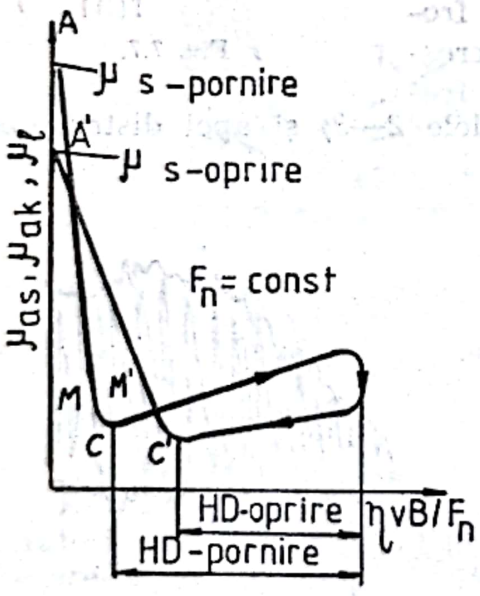


Fig. 7.9.

După Constantinescu și colaboratori [48] (1980—1985) pentru lagăre HD oscilante, relația devine complexă.

$$f_0 = \Phi\sqrt{\eta v B/F_n};\ \Phi = f(h_1/h_2) \qquad (10)$$

(B — lățimea suprafeței; $h_{1,2}$ — grosimea filmului).

Curba Stribeck. Această curbă caracteristică, obținută de Stribeck în anul 1902 [44] la un lagăr cu alunecare, persistentă încă tocmai datorită trecerii coeficientului de frecare de la regimul uscat la cel limită (L), mixt (M) și HD (funcție de expresia $\eta v B/F_m$ numărul Stribeck).

Fleischer [10] (1980) a dat o interpretare originală variației coeficientului de frecare printr-un ciclu oarecum închis pornire-oprire (fig. 7.9). De menționat că unii autori deformează alura inițială a curbei pentru „a face loc" și unui regim EHD între M și HD [43, 49] (1974).

Variația coeficientului de frecare pe curbe tip Stribeck a mai fost urmărită de Bertoli și colaboratori (1977) și de Darbey și colaboratori [50] (1978) pentru a studia influența rugozităților în regim EHD parțial.

Scanned with OKEN Scanner

Regimul elastohidrodinamic (EHD). După anul 1970 mulți specialiști au acordat o atenție mai mare regimului parțial EHD, prezenței și orientării rugozităților [36, 50—59]. Posibilitatea de reprezentare analitică a coeficientului de frecare s-a extins și la acest regim.

Astfel, ca forme simple ale tracțiunii transmisă prin asperități F_{tr} s-a putut folosi o expresie asemănătoare cu (1), $F_{tr}=f_{tr}F_{as}$, deci care conține valorile medii ale coeficientului de frecare limită a forței pe asperități [57]. De asemenea, unii autori (Bair, Winer, Diaconescu, Cameron, Popinceanu și colab. ș.a.) [57—58] au admis că, pentru lubrifiantul ajuns în stare solidă, se poate aplica relația $f_{tr}=\tau/p$, asemănătoare cu (3). Mai mulți autori au reprezentat coeficientul de tracțiune f_{tr} cu două componente (pentru contactul prin asperități și respectiv prin filmul EHD) funcție de coeficientul de alunecare-rostogolire ξ. S-a ajuns și la forme mai complexe, cum sînt cele date de Tallian și Chiu (1975), Drozdov și Acerkov (1975), Kodnir (1976), Pavelescu și Tudor (1982), Bartz (1985) etc. [52—56].

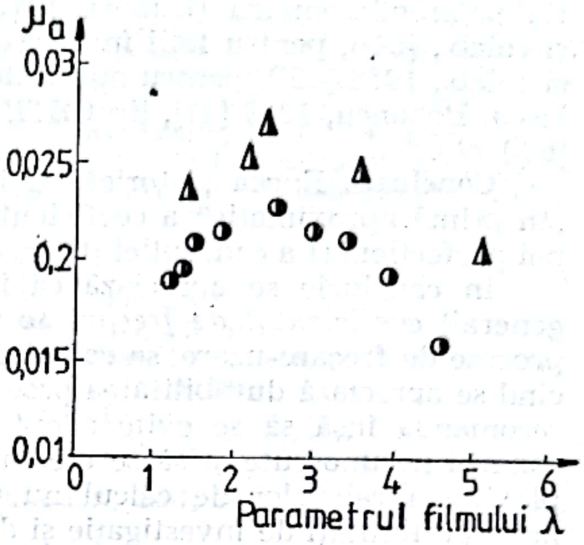


Fig. 7.10.

Astfel, după Kodnir [54], la un angrenaj într-un punct în raza de curbură R_c, μ poate fi obținut sub forma

$$\mu=F_f/F_n=\frac{3I_1\eta_0(v_1+v_2)\sqrt{2R_c/h_0}}{F_{n1}}\pm\frac{v_1-v_2}{v_1+v_2}\cdot\frac{I_2}{F_{n1}}, \qquad (11)$$

(h_0 — grosimea filmului de lubrifiant; I_1 și I_2 — integralele rezolvate de autor pe cale numerică; F_{n1} — forța preluată pe unitatea de lungime de contact; v_1, v_2 — vitezele tangențiale; η_0 — viscozitatea dinamică la presiunea atmosferică).

Bartz și colaboratorii [56], care au studiat regimul EHD mixt dinamic (pe o cuplă tip SAE), plecînd de la relația Amontons-Coulomb, au ajuns la o relație deosebit de complexă,

$$\mu=1{,}46\,E_{red}^{-0{,}22}R_c^{-0{,}28}\alpha_p^{-0{,}56}\eta_o^{0{,}31}\mu_m^{-0{,}69}v_g p_H^{-0{,}68}\int_0^1\Phi d\bar{x},\ \Phi=e^{\alpha_p p_H\sqrt{1-\bar{x}^2}} \qquad (12)$$

ce ar putea fi rezolvată numai printr-o metodă numerică (α_p — piezocoeficientul de viscozitate; η_0 — viscozitatea dinamică la intrare; μ_m — parametrul vitezelor; $v_g=v_1-v_2$ — viteza de alunecare; p_H — presiunea hertziană; $\bar{x}$ — coordonata adimensională a punctului de contact).

Dintre rezultatele experimentale exemplificăm lucrarea lui Yamamoto și Ura [59] (1985); se prezintă o dependență a coeficientului de frecare (0,035 . . . 0,015) de parametrul filmului $\lambda=0{,}5\ldots5$) și de temperatura suprafeței (25 . . . 50°C) (fig. 7.10).

Scanned with OKEN Scanner

Tribometre. Îndeosebi după anul 1950 au fost realizate o serie de tribometre mai larg răspîndite, cum sînt: Amsler, Almen, Falex, Moulin, Blouet, 4 bile SAE, Timken, NAMI etc. [7, 41, 44, 48, 57, 60—62]. Necesitatea aprofundării unor fenomene tribologice a condus, în continuare, la realizarea și a altor tipuri de aparate, foarte sensibile, ca de exemplu: tip polaromicrometru (Dubois, 1975 [63]), tip ultasclerometru (Sarenko și colab., [64]), pentru folii în interiorul microscopului electronic (Heurtel și colab., 1976 [65]), pentru măsurători de precizie cu pernă de aer (Pavelescu, Bobancu, 1983 [41], tip CETIM de mare viteză (Colin și colab., 1985 [66]) etc.

Concluzii. Epoca „istorică" a influențat totuși mult timp utilizarea „în primă aproximație" a coeficientului de frecare, dar și „gîndirea" spre noi perfecționări a concepției de „coeficient de frecare".

În concluzie se apreciază că în construcția de mașini (ca domeniu general) *coeficientul de frecare se dovedește util* atunci cînd se exprimă procese de frecare-uzare, se calculează forțe și momente de frecare, atunci cînd se apreciază durabilitatea proceselor sau a suprafețelor respective. Se recomandă însă să se evite adoptarea unor valori tabelare, obținute în condiții necunoscute și să se efectueze măsurători în condiții reale. Complexitatea relațiilor de calcul nu trebuie să deranjeze avînd în vedere noile posibilități de investigație și de calcul.

BIBLIOGRAFIE

1. BRAITHWEITE, E. R. și GREEN, A. B. În: *Wear*, 46, 2 (1978), p. 405.
2. LELOUP, L. *Étude de la Lubrification et Calcul des Paliers*, Paris, Ed. Dunod, 1962.
3. HERSEY, M. D. *Theory and Research in Lubrication*. New York, J. Wiley and sons, 1966 Ch. I. Friction in Machinery Press, 1964.
4. BOWDEN, F. și TABOR, D. *The Friction and Lubrication of Solids*. I, Oxford at the Clarendon, 1964.
5. KRAGHELSKY, I. V. *Trenie I. Iznos*. Moscova, Mașghiz, 1962.
6. PAVELESCU, D. *Concepții noi, calcul și aplicații în frecarea și uzarea solidelor deformabile*. București, Ed. Academiei R.S.R., 1970.
7. PAVELESCU, D. ș.a. *Tribologie*. București. Ed. Did. și Pedag., 1977.
8. POLZER, G. și MEISSNER, F. *Grundlagen zur Reibung und Verschleiss*. Leipzig, V.E.B. D. Verlaf für Grundstoffindustrie, 1978.
9. FLEISCHER, G. ș.a. *Verschleiss und Zuverlässigkeit*. Berlin, V.E.B. Verlag Technik, 1980.
10. COURTEL, R. și TICHVIMSKI, I. M. În: Rev. de L'Inst. Franc. de Petrole XVI, 9 Sept. 1961, p. 978—991.
11. COULOMB, CH. A. Acad. Roy des Sci. In: Mémoires de math. et de phys., 10 (1785) 161—332.
12. KRAGHELSKI, I. V. În: Journ. de Frott, Industr. Nr. 6, Ianv. 1980, p. 2—6.
13. * * * Glossary. *Tribology Organis*. Paris, 1969.
14. ARCHARD, J. F. În: Proc. Roy. Soc., Ser. A. Vol. 243, 1957, p. 190—205.
15. BARWELL, F. T. *Some further thougths on the nature of Boundary*. În: Univ. Swansea, 1967.
16. HOLM, R. *Uber die auf wirkliche Berührungsfläche bezogene Reibungskraft*, wiss, Veröff, Siemens Werk, 17.4, 1938.
17. SAKA, N. ș.a. În: Wear, 100, 1984, p. 77—105.

Scanned with OKEN Scanner

18. CHALLEN, J. M. şi OXLEY, P. L. B. În: Wear, 53, 1979, p. 229—243.
19. RABINOWICZ, E. *Friction and wear of Materials.* New York, J. Willey, 1965.
20. KOSTETSKI, V. I. În: EUROTRIB '85, Ecully, II, 5.4.3., 1985.
21. SUH, N. P. ş.a. În: Trans, ASME, J. Lubric. Techn., oct., 1974, p. 631—637.
22. RIGNEY, D. ş.a.: În: Wear, 100, 1984, p. 195—219.
23. BLOCK, H. În: Wear, 6, 1963, p. 483—494.
24. KELLY, B. W. În Handbook of Mech. Wear., Univ. Michigan Press, 1961, p. 155—172.
25. DUDLEY, D. W. şi WINTER, G. *Zahnräder.* Springer Verlag, Berlin, 1961.
26. MATVEEVSKII, R. M. ş.a.: În: EUROTRIB '77, Dusseldorf, II, 49/1, 1977.
27. CHICHINADZE, A. W. În: *Schmierungstechnik,* 3, 1972, H. 6, p. 166—172.
28. FISCHER, F. şi CRON, A. În: EUROTRIB '85, Ecully, II, P.5.1.4, 1985.
29. ILIUC, I. *Tribologia straturilor subţiri.* Bucureşti, Ed. Academiei R.S.R., 1979.
30. SEMENOV, A. P. şi KAZURA, A. A. În: EUROTRIB '77, Düsseldorf, II, 65/1, 1977.
31. Mc DANIEL R. M. În: Lubric. Engr., 21, p. 463—473, 1965.
32. GLAESER, W. A. În: ASTM STP 446, 1969, p. 42—54.
33. BUCKLEY, D. H. şi MIYOSKI, K. În: Wear, 100, 1984, p. 333—353.
34. NAGA, S. A. R. ş.a. În: EUROTRIB '85, Ecully, III, 1.2., 1985.
35. ARCHARD, J. F. HIRST, W. În: Scient. Lubricat, Nov., 1958, p. 3—8.
36. PAVELESCU, D. *Tribotehnica.* Bucureşti, Ed. Tehnică, 1983.
37. HINTERMANN, H. E. În: Wear, 100, 1984, p. 381—396.
38. ANTON, I. *Cavitaţia,* Vol. I. Bucureşti, Ed. Academiei R.S.R., 1984, p. 192, 193.
39. DEREAGHIN, B. V. ş.a. În: Proc. Frict. Lubr., 1957, Inst. Mech. Eng. Londra, p. 257—268.
40. SMIKINS, TH. E. În: Lubrif. Eng. 23, 1967, 26.
41. PAVELESCU, D. şi BOBANCU, S. În: TRIBOTEHNICA '78, Galaţi, I, p. 317—322, 1978.
42. BO, L. C. şi PAVELESCU, D. În: Wear, 82, 1982, p. 277—289.
43. GEORGES, J. M. ş.a. În: CETEHOR, Besançon, 1974.
44. VASILCA, GH. şi BITA, O. *Procese de lubrificaţie, frecare şi uzură la suprafeţe metalice.* Bucureşti, Academia R.S.R., 1967, p. 166—226.
45. WERNEROWSKI, K. şi GASIOROWSKI, I. În: EUROTRIB '85, vol. IV, 5.1., 1985.
46. VOGELPOHL, G. În: V.D.I., 96, 9, p. 26, 1954.
47. KORIAULI, I. P. În: EUROTRIB '85, IV, 5.3., Ecully, 1985.
48. CONSTANTINESCU, V. N. *Lagăre cu alunecare.* Bucureşti, Ed. Tehnică, 1980.
49. MASSIN, M. În: CETEHOR, D.6.1—17, 1972.
50. DARBEY, P. L. ş.a. În: Symp. Leeds—Lyon, 1979, p. 398—403.
51. DOWSON, D. ş.a. *Elastohydrodynamics and related topics.* Symp. Leeds—Lyon, London, 1979.
52. TALLIAN, T. E. ş.a. În: ASME, J. of L.T., vol. 100, 3, 19, 78.
53. DROZDOV, I. N. şi ARCEGOV, V. G. În: Maşinovedenie, Nr. 6, 1975.
54. KODNIR, D. S. *Kontaktnaia gidrodinamika s maski detalei maşin.* Moscova, Maşinostroienie, 1976.
55. PAVELESCU, D. şi TUDOR, A. În: Constr. de Maşini, 11, XXXIV, 1982, p. 592—594.
56. BARTZ, W. J. ş.a. În: EUROTRIB '85, Ecully, vol. I, 1.33, 1985.
57. POPINCEANU, N. ş.a. *Problemele fundamentale ale contactului cu rostologire.* Bucureşti, Ed. Tehnică, 1985.
58. DIACONESCU, E. N. şi CAMERON, A. În: TRIBOTEHNICA '82, Ploieşti, I, p. 105—108, 1982.
59. YAMAMOTO, Y. şi URA, A. În: EUROTRIB '85, IV, 5.2, 1985.
60. BLOUET, J. În: Symp. GAMI, Paris, 1967, p. 59—74.
61. * * * Experimental Methods in Tribology, Symp. I.M. Eng., Londra, 1968.
62. CRUDU, I. *Încercarea metalelor la uzură* (În: Încercarea materialelor, Vol. I). Bucureşti, Ed. Tehnică, 1982, p. 351—378.
63. DUBOIS, J. E. În: Journ. of Electrochemical, Soc., 122, 11, 1975, p. 1453—1460.
64. SAVENKO, V. I. ş.a. În: Wear, 56, 1979, p. 297—307.
65. HEURTEL, A. ş.a. *Apparatus for the measurement of friction on thin foils inside an electron microscope.* În: Journ. of Physics E., Sc. Instr., 1976, 9.
66. COLIN, G. ş.a. În: EUROTRIB '85, Ecully, IV, 4.1., 1985.

Scanned with OKEN Scanner

8

Procesul ireversibil nestaţionar de umplere politropică a unui spaţiu de volum constant

Prof. dr. ing. *Vsevolod Radcenco*
Ing. *Luminiţa Radcenco*
Institutul Politehnic Bucureşti

1. Introducere

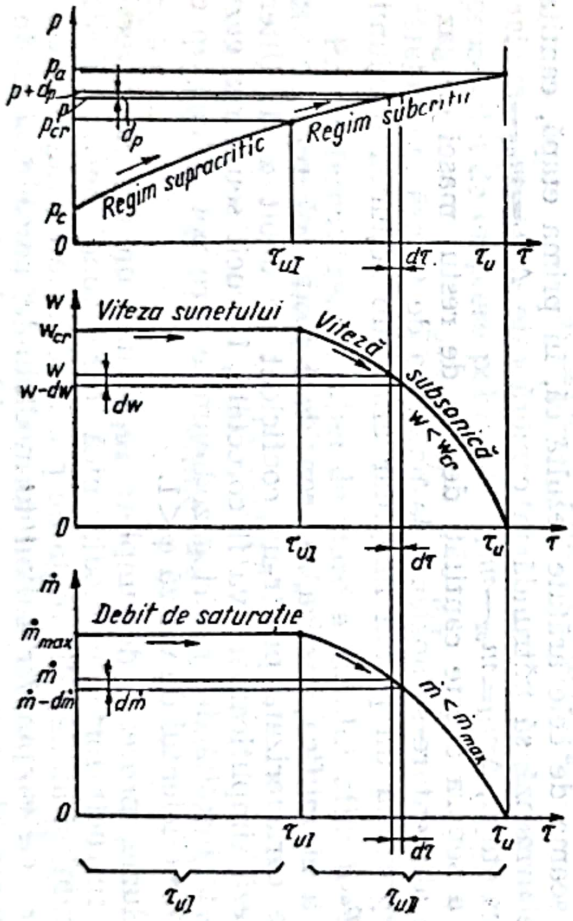
Dezvoltarea rapidă a termodinamicii proceselor ireversibile este indisolubil legată de descrierea desfăşurării în timp a acestora, în rîndul cărora o poziţie deosebită o ocupă procesele de umplere şi golire a unui spaţiu de volum constant. Într-adevăr, funcţionarea detentoarelor criogenice cu piston ca şi a sistemelor pneumoautomate presupune pătrunderea unei cantităţi de gaz în spaţiul mort controlat de piston, respectiv, într-o cameră pneumatică de volum constant.

În modelarea procesului de umplere au fost obţinute o serie de rezultate [2, 7, 9] în situaţia în care sistemul spaţiu-conductă a fost considerat izolat adiabat. Luarea în considerare a influenţei transferului de căldură asupra duratei procesului de umplere prezintă interes atît din punct de vedere teoretic, cît şi practic, prin aceea că permite mărirea gradului de precizie la determinarea timpului de umplere care condiţionează funcţionarea corectă a sistemelor criogenice prevăzute cu detentoare cu piston ca şi cel al sistemelor pneumoautomate, inclusiv, al roboţilor cu acţionare hidropneumatică.

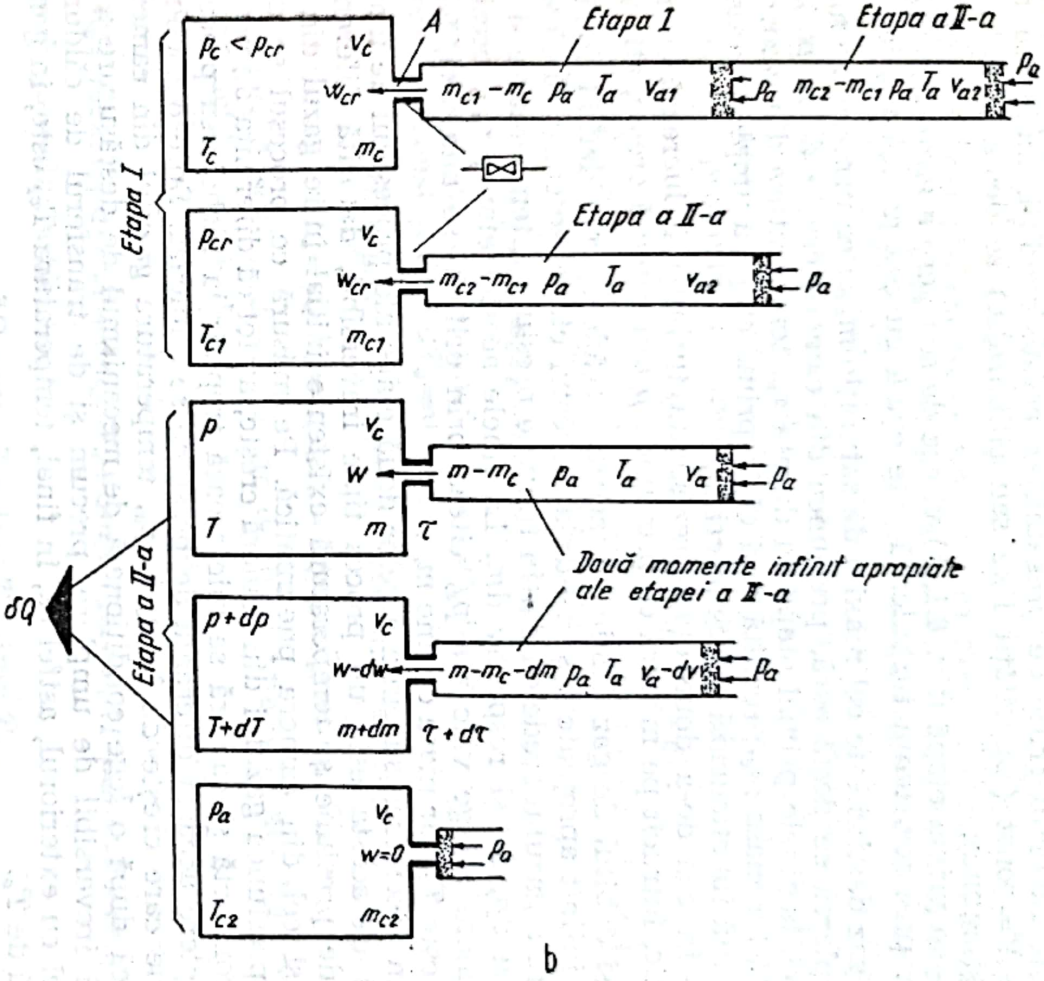
2. Modelarea procesului de umplere a unui spaţiu de volum constant

Schematizarea procesului de umplere şi diagramele de variaţie a presiunii într-un spaţiu de volum constant, a vitezei şi a debitului de gaz scurs prin rezistenţa turbulentă sau ajutajul care face legătura între conducta de alimentare şi camera pneumatică sau cilindru în funcţie de timp [9] sînt arătate în fig. 8.1. Se consideră că această rezistenţă se comportă ca un ajutaj convergent de secţiune constantă iar presiunea iniţială p_c din camera pneumatică este inferioară presiunii critice $p_{cr}=$

Scanned with OKEN Scanner



a



b

Fig. 8.1.

Scanned with OKEN Scanner

$=\beta_{cr}p_a$, unde p_a reprezintă presiunea de alimentare iar $\beta_{cr}=(2/k+1)^{k/(k-1)}$ definește raportul critic de presiuni. În aceste condiții, umplerea camerei de V=const (capacității fixe sau cilindrului) se desfășoară în două etape și anume:

— în prima etapă (fig. 8.1, *b*) viteza de scurgere a gazului considerat perfect prin rezistența turbulentă este egală cu cea critică w_{cr} iar debitul de gaz destins este cel maxim de saturație $\dot{m}_{max}$; ca urmare, pe măsură ce umplerea se desfășoară, presiunea din cameră crește de la p_c la p_{cr}) astfel că la finele primei etape cu durata τ_{ul} temperatura din cameră devine T_{c1} iar masa m_{c1}; rezultă deci că în prima etapă a umplerii rezistența turbulentă funcționează în regim critic;

— în cea de-a doua etapă rezistența turbulentă lucrează în regim subcritic, întrucît pe măsură ce presiunea p din cameră crește, atît viteza w cît și debitul de gaz destins $\dot{m}$ acuză o scădere; considerînd două momente infinit apropiate τ și $\tau+d\tau$ ale acestei etape, se constată că viteza de ieșire a gazului scade cu d[illegible] în timp de presiunea, temperatura și masa cresc cu dp, dT și respectiv dm. La finele acestei etape, $\tau_{u\,I}$, presiunea din cameră atinge valoarea p_a, viteza prin orificiu se anulează, temperatura este T_{c2} iar masa devine m_{c2}.

Din descrierea succintă a celor două etape ale procesului de umplere rezultă că acesta este un proces tipic ireversibil, datorită diferențelor finite de presiune și temperatură existente inițial între gazul din conductă și cel din camera pneumatică. Pe măsură ce procesul se desfășoară, presiunea gazului din cameră crește, astfel că diferența de presiune între conductă și cameră se micșorează treptat; la încheierea procesului de umplere această diferență de presiune se anulează. Spre deosebire de presiune care crește de la p_c la p_a, temperatura gazului din cameră se modifică după o lege condiționată de mecanismul de desfășurare a procesului ireversibil de umplere, precum și de transferul de căldură al camerei cu exteriorul, astfel că, în final, temperatura T_{c2} este, în general, diferită de T_a.

Ținînd seama de cele arătate rezultă că, în prima etapă, cantitatea de gaz care urmează să pătrundă în cameră este $\Delta m_I=m_{c1}-m_c$ iar, în cea de-a doua etapă, $\Delta m_{II}=m_{c2}-m_{c1}$.

Pentru a separa aceste cantități de gaz de restul masei de gaz din conducta de alimentare se apelează la noțiunea de tranșă „înghețată" de gaz, care reprezintă un piston imaginar aflat sub acțiunea presiunii de alimentare p_a.

Pentru a simplifica analiza, se consideră inițial că rezistența turbulentă este caracterizată printr-un coeficient de debit $\alpha=1$. Ulterior, această ipoteză simplificatoare va fi corectată, întrucît scurgerea gazului în cameră este însoțită de frecări gazodinamice care pot fi luate în considerare prin coeficientul de viteză $\varphi<1$.

În concluzie, procesul de umplere reprezintă un proces ireversibil, nestaționar, întrucît forța termodinamică care condiționează desfășurarea procesului și anume diferența de presiune între conductă și cameră se micșorează cu timpul iar fluxul termodinamic, adică debitul de gaz scurs în cameră, de asemenea, acuză o scădere după epuizarea primei etape a acestui proces.

Scanned with OKEN Scanner

3. Ecuațiile diferențiale ale umplerii politrope

Desfășurarea procesului de umplere în prezența transferului de căldură cu exteriorul permite calificarea acestui proces, în mod convențional, ca fiind politrop, cu toate că în termodinamica clasică această denumire este atribuită proceselor reversibile de cantitate constantă. După cum se va arăta în continuare, extinderea acestei denumiri asupra proceselor ireversibile neadiabate de umplere și golire este pe deplin justificată.

Pentru descrierea matematică a procesului de umplere politropă se aplică ecuația primului principiu al termodinamicii:

$$\delta Q = \mathrm{d}U + \delta L = \mathrm{d}U_c + \mathrm{d}U_a + \delta L_t + \delta L_a, \tag{1}$$

unde: $\mathrm{d}U_c = \mathrm{d}(mc_vT) = mc_v\mathrm{d}T + \mathrm{d}mc_vT$ reprezintă variația infinit mică a energiei interne a gazului din camera pneumatică;

$$\mathrm{d}U_a = \mathrm{d}(mc_vT) = m_ac_v\mathrm{d}T_a + \mathrm{d}m_ac_vT_a = \mathrm{d}m_ac_vT_a$$

precizează variația infinit mică a energiei interne a gazului din conductă, în care $T_a = \text{const}$ și deci $\mathrm{d}T_a = 0$;

$$\delta L_c = p\mathrm{d}V_c = 0, \text{ întrucît } V_c = \text{const iar } \mathrm{d}V_c = 0;$$

$$\delta L_a = p_a\mathrm{d}V_a = \mathrm{d}(p_aV_a) = \mathrm{d}(m_aRT_a) = \mathrm{d}m_aRT_a$$

caracterizează schimbul elementar de lucru mecanic absolut al gazului din conducta de alimentare.

Întrucît δQ reprezintă schimbul elementar de căldură al gazului cu exteriorul în timpul procesului de umplere, se ajunge la concluzia că

$$\delta Q = mc_v\mathrm{d}T + \mathrm{d}mc_vT + \mathrm{d}m_ac_vT_a + \mathrm{d}m_aRT_a = mc_v\mathrm{d}T + \mathrm{d}mc_vT + \mathrm{d}m_ac_pT_a,$$

unde $\mathrm{d}m_a = -\mathrm{d}m$, astfel încît:

$$\delta Q = mc_v\mathrm{d}T + \mathrm{d}mc_vT - \mathrm{d}mc_pT_a. \tag{2}$$

După raportarea la mc_vT, în final, rezultă prima ecuație diferențială a procesului de umplere politropică:

$$\frac{\mathrm{d}T}{T} - \left(k\frac{T_a}{T} - 1\right)\frac{\mathrm{d}m}{m} = \frac{\delta Q}{mc_vT}. \tag{3}$$

Prin diferențierea ecuației de stare a gazului aflat în camera pneumatică la un moment dat oarecare, $pV_c = mRT$, se obține

$$V_c\mathrm{d}p = mR\mathrm{d}T + \mathrm{d}mRT.$$

Raportînd la mRT, se obține cea de-a doua ecuație diferențială a umplerii:

$$\frac{\mathrm{d}m}{m} = \frac{\mathrm{d}p}{p} - \frac{\mathrm{d}T}{T}. \tag{4}$$

Prin corelarea ecuațiilor diferențiale (3) și (4) rezultă

$$\frac{\mathrm{d}T}{T} - \left(k\frac{T_a}{T} - 1\right)\left(\frac{\mathrm{d}p}{p} - \frac{\mathrm{d}T}{T}\right) = \frac{\delta Q}{mc_vT}. \tag{5}$$

Scanned with OKEN Scanner

Dezvoltarea acestei ecuații conduce la:

$$kT_a \frac{dT}{T^2} - \left(k \frac{T_a}{T} - 1\right) \frac{dp}{p} = \frac{\delta Q}{mc_v T}.$$

Se raportează la $kT_a/T-1$ și se obține

$$\frac{kT_a}{kT_a/T-1} \cdot \frac{dT}{T^2} - \frac{dp}{p} = \frac{\delta Q}{mc_v T\,(kT_a/T-1)}.$$

Ținînd seama că $m=pV_c/RT$ iar $c_v=R/(k-1)$ se ajunge în final la ecuația diferențială a procesului de umplere politropă:

$$\frac{dp}{p} = k \frac{T_a}{T} \cdot \frac{dT}{T\,(kT_a/T-1)} + \frac{k-1}{V_c} \cdot \frac{\delta Q}{p\,(kT_a/T-1)} \tag{6}$$

Se aplică ecuația diferențială (6) în cele două cazuri limită, caracteristice, și anume:

— în cazul umplerii adiabate $\delta Q=0$, astfel că

$$\frac{dp}{p} = k \frac{T_a}{T} \cdot \frac{dT}{T\,(kT_a/T-1)}; \tag{6, a}$$

— în cazul umplerii izotermice $dT=0$ iar $T=T_a$ și deci

$$\delta Q_T = V_c dp, \tag{6, b}$$

ceea ce înseamnă că pentru a menține constantă temperatura în camera pneumatică este necesar ca în timpul procesului de umplere să fie evacuată în exterior o căldură cantitativ egală cu

$$Q_T = \int_{p_c}^{p_a} V_c \cdot dp = V_c(p_a - p_c).$$

În condiții reale de umplere, căldura evacuată din cameră este inferioară lui δQ_T astfel că:

$$0 \leqslant \delta Q \leqslant \delta Q_T.$$

Se consideră că

$$\delta Q = \xi \delta Q_T = \xi V_c dp, \tag{7}$$

unde $\xi \in [0,1]$; dacă $\xi=0$, umplerea este adiabată și $\delta Q=0$, iar dacă $\xi=1$ umplerea decurge izotermic și $\delta Q=\delta Q_T$.

În aceste condiții ecuația (6) devine

$$\frac{dp}{p} = k \frac{T_a}{T} \cdot \frac{dT}{T\,(kT_a/T-1)} + \xi \frac{k-1}{kT_a/T-1} \cdot \frac{dp}{p}. \tag{8}$$

După prelucrarea acestei ecuații diferențiale se ajunge la forma

$$\frac{dp}{p} = \frac{k}{1+\xi\,(k-1)} \cdot \frac{T_a}{T} \cdot \frac{dT}{T\left[\dfrac{k}{1+\xi\,(k-1)} \cdot \dfrac{T_a}{T} - 1\right]}. \tag{9}$$

Scanned with OKEN Scanner

Se impune introducerea unui exponent de tip politropic, și anume

$$n=\frac{k}{1+\xi(k-1)}, \tag{10}$$

în care, pentru $\xi=0$, rezultă $n=k$ și umplerea este adiabată, iar dacă $\xi=1$ se constată că $n=1$, umplerea decurgînd izotermic.

Ca urmare, ecuația diferențială cu variabile separabile a umplerii politrope devine

$$\frac{dp}{p}=nT_a\frac{dT}{T(nT_a-T)}. \tag{11}$$

Pentru integrare, ultima ecuație poate fi scrisă și sub forma

$$\frac{dp}{p}=\frac{dT}{T}+\frac{dT}{nT_a-T}. \tag{11, a}$$

Temperatura curentă T a gazului din camera pneumatică se obține prin integrare:

$$\int_{p_c}^{p}\frac{dp}{p}=\int_{T_a}^{T}\frac{dT}{T}+\int_{T_a}^{T}\frac{dT}{nT_a-T}. \tag{11, b}$$

În final, rezultă

$$T=T_a\frac{n}{1+\frac{p_c}{p}\left(n\frac{T_a}{T_c}-1\right)}, \tag{12}$$

în care $n\in[1, k]$.

Se observă deci că

$$\frac{T}{T_a}=f\left(\frac{p}{p_c}, \frac{T_a}{T_c}, n\right).$$

În cazul umplerii adiabate $n=k$, astfel că

$$\frac{T}{T_a}=\frac{k}{1+\frac{p_c}{p}\left(k\frac{T_a}{T_c}-1\right)} \tag{12, a}$$

Uzual, în procesul de umplere a unei camere pneumatice $T_c=T_a$, astfel că

$$\frac{T}{T_a}=\frac{n}{1+(n-1)p_c/p}. \tag{12, b}$$

În fig. 8.2 este reprezentată grafic dependența $T/T_a=f(p/p_c, n)$ precizată de relația (12, b) pentru $T_c=T_a$, $p/p_c=1\ldots4$ și $n=1\ldots k=1{,}4$. Se observă următoarele:

— pentru un raport de presiuni p/p_c dat, temperatura T în cameră crește pe măsură ce evacuarea căldurii din cameră către exterior se atenuează, adică $n\to k$;

— pentru un exponent n dat, temperatura T în cameră crește, într-un ritm din ce în ce mai lent odată cu presiunea p;

Scanned with OKEN Scanner

— cu excepția umplerii izotermice cînd $T=T_a$, în toate celelalte cazuri temperatura T din camera pneumatică este mai mare decît cea din conducta de alimentare T_a, raportul T/T_a fiind cu atît mai mare cu cît evacuarea căldurii este mai redusă, adică n are valori mai ridicate.

În fig. 8.3 este precizată pe cale grafică și influența raportului inițial de temperaturi $T_a/T_c=0,9 \ldots 1,1$ asupra temperaturii din camera pneumatică precizată de relația (12) în ipoteza $n=1,3$ și pentru $p/p_c=1 \ldots 4$. Se remarcă următoarele:

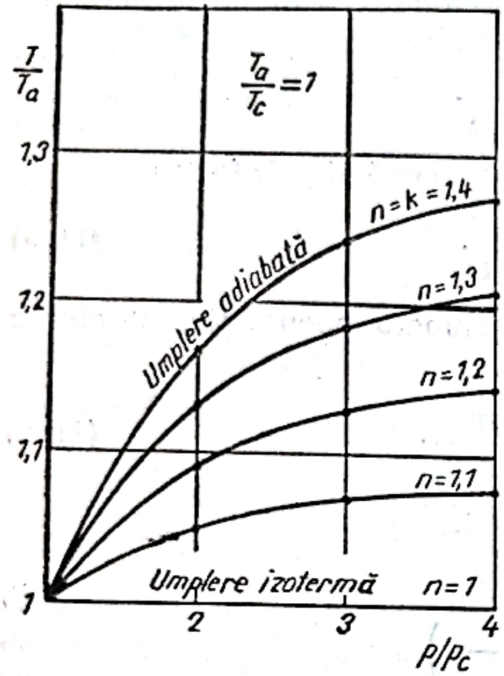


Fig. 8.2.

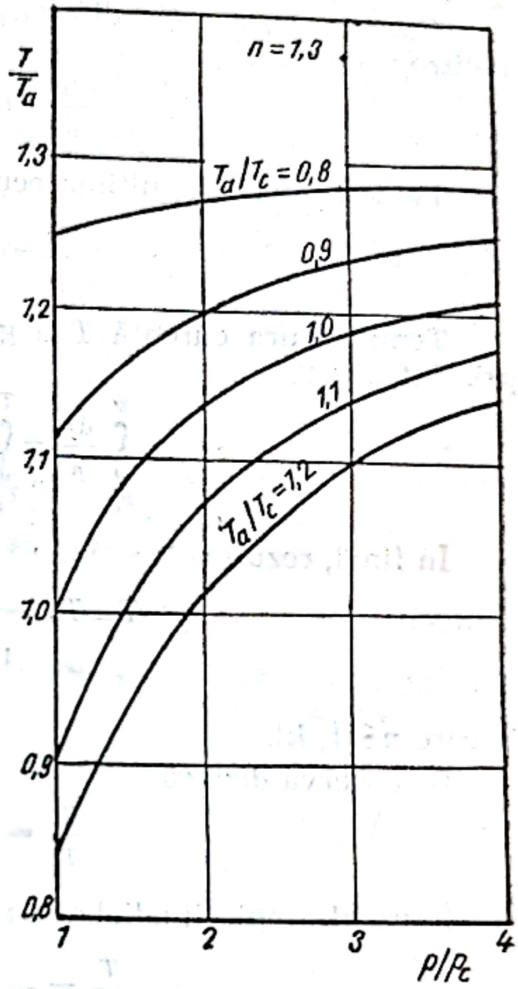


Fig. 8.3.

— pentru un raport de presiuni p/p_c dat, temperatura din camera pneumatică crește pe măsură ce raportul de temperaturi T_a/T_c scade, adică, pentru un T_a dat, temperatura T_c este mai mare;

— la creșterea raportului de presiuni p/p_c, intervalul de valori în care se află T/T_a se îngustează.

4. Variația entropiei în procesul de umplere politropică

La încheierea procesului de umplere a capacității pneumatice fixe sau cilindrului detentorului criogenic cu piston temperatura din spa-

ţiul de volum constant se determină pe baza relaţiei (12) punînd condiţia $p=p_a$ astfel că (fig. 8.1):

$$\frac{T_{c2}}{T_a}=\frac{n}{1+\frac{p_c}{p_a}\left(n\,\frac{T_a}{T_c}-1\right)} \tag{13}$$

Rezultă variaţia de entropie a sistemului (fig. 8.1, b):

$$\Delta S_u=S_{final}-S_{initial}=m_{c2}\cdot s_{c2}-[m_c s_c+(m_{c2}-m_c)s_a]=$$

$$=m_{c2}(s_{c2}-s_a)-m_c(s_c-s_a)=m_{c2}\left[s_{c2}-s_a-\frac{m_c}{m_{c2}}\,(s_c-s_a)\right] \tag{14}$$

Se observă că

$$\frac{m_c}{m_{c2}}=\frac{p_cV_c/(RT_c)}{p_aV_c/(RT_{c2})}=\frac{p_c}{p_a}:\frac{T_{c2}}{T_c}, \tag{15}$$

iar

$$s_{c2}-s_a=c_p\ln\frac{T_{c2}}{T_a}\;;\;s_c-s_a=c_p\ln\frac{T_c}{T_a}-R\,\ln\frac{p_c}{p_a} \tag{16}$$

Se constată deci că

$$\Delta S_u=m_{c2}\left[c_p\,\ln\frac{T_{c2}}{T_a}-\frac{p_c}{p_a}\cdot\frac{T_{c2}}{T_c}\left(c_p\,\ln\frac{T_c}{T_a}+R\,\ln\frac{p_a}{p_c}\right)\right]=\frac{p_0V_c}{T_a}\cdot\frac{k}{k-1}\cdot$$

$$\cdot\frac{T_a}{T_{c2}}\left[\ln\frac{T_{c2}}{T_a}-\frac{p_c}{p_a}\cdot\frac{T_{c2}}{T_a}\cdot\frac{T_a}{T_c}\left(\ln\frac{T_c}{T_a}+\frac{k-1}{k}\,\ln\frac{p_a}{p_c}\right)\right]\gtrless 0. \tag{17}$$

Evident, în funcţie de intensitatea schimbului de căldură al sistemului cu exteriorul (mediul ambiant), entropia sistemului poate să crească sau să scadă, după cum raportul între variaţia de entropie datorată acestui schimb de căldură şi cea determinată de ireversibilitatea internă a procesului este subunitar sau supraunitar. Pentru a reliefa acest ultim aspect se consideră că sistemul este izolat adiabat ($n=k$) iar $p_c/p_a\to 0$ adică $p_a/p_c\to\infty$; în aceste condiţii rezultă creşterea maximă de entropie datorată umplerii adiabate ireversibile şi anume

$$\Delta S_{iru}^{max}=m_{c2}c_p\ln\left(\frac{T_{c2}}{T_a}\right)_{max}>0, \tag{18}$$

în care

$$\left(\frac{T_{c2}}{T_a}\right)_{max}=\lim_{\frac{p_c}{p_a}\to 0}\frac{k}{1+\frac{p_c}{p_a}\left(k\,\frac{T_a}{T_c}-1\right)}=k. \tag{19}$$

Ca urmare

$$\Delta S_{iru}^{max}=m_{c2}c_p\ln k=\frac{p_aV_c}{T_{c2}}\cdot\frac{k}{k-1}\,\ln k=\frac{p_aV_c}{T_a}\left(\frac{T_a}{T_{c2}}\right)_{min}\frac{k}{k-1}\,\ln k=$$

$$=\frac{p_aV_c}{T_a}\ln k^{1/(k-1)}>0 \tag{20}$$

În fig. 8.4 este reprezentată grafic funcţia $\frac{\Delta S_{iru}}{p_aV_c/T_a}=f\left(\frac{p_a}{p_c}\right)$ în

Scanned with OKEN Scanner

ipoteza $T_a/T_c=1$ și $n=k=1{,}4$; se constată că la mărirea raportului p_a/p_c, creșterea entropiei cauzate de ireversibilitatea internă a procesului se accentuează. Desigur că, în cazul umplerii adiabate, cînd $n=k$, indiferent dacă $T_a/T_c \gtrless 1$ se constată că, întotdeauna $\Delta S_{iru}>0$; creșterea entropiei determinate de ireversibilitate se accentuează, pentru un raport p_a/p_c dat, pe măsură ce T_a/T_c se micșorează.

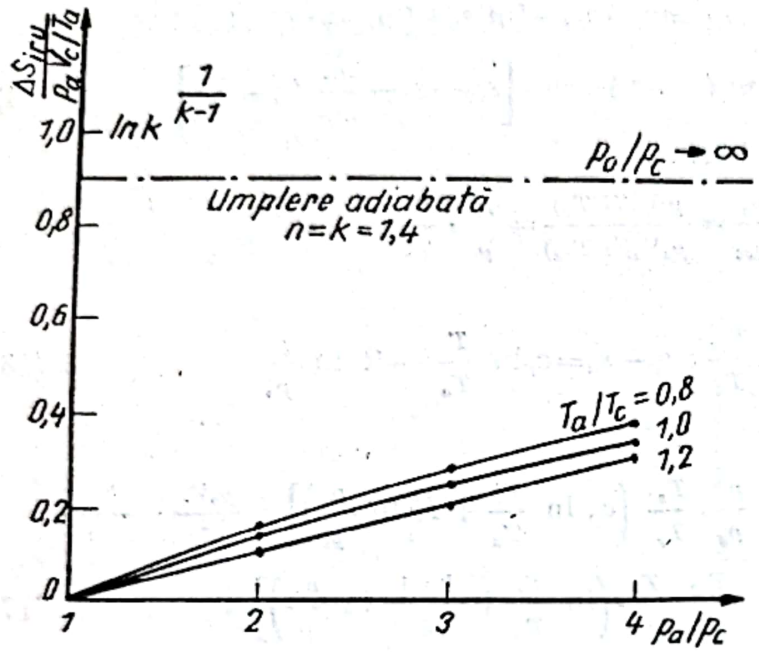


Fig. 8.4.

5. Determinarea timpului de umplere politropică a unui spațiu de volum constant

S-a arătat că legătura între conducta de alimentare și spațiul de volum constant (cilindru, cameră pneumatică) este controlată prin intermediul unui orificiu de secțiune, considerată constantă A, care se comportă ca un ajutaj convergent, denumit, în pneumoautomatică, *rezistență turbulentă*. Considerînd că această rezistență este caracterizată printr-un coeficient de debit unitar ($\alpha=1$), rezultă că timpul total de umplere va fi precizat de relația

$$\tau_u=\tau_{uI}+\tau_{uII}=\frac{\Delta m_I}{\dot{m}_{max}}+\int_{\dot{m}_{max}}^{0}\frac{dm}{\dot{m}} \tag{21}$$

unde Δm_I reprezintă cantitatea de gaz care pătrunde în spațiul considerat în prima etapă, iar $\dot{m}$ — debitul de gaz destins la un moment oarecare τ al celei de-a doua etape a umplerii.

Calculul timpului de umplere în prima etapă. S-a arătat că

$$\tau_{uI}=\Delta m_I/\dot{m}_{max} \tag{22}$$

în care

$$\Delta m_I = m_{c1} - m_c = \frac{p_{cr}V_c}{RT_{c1}} - \frac{p_cV_c}{RT_c} = \frac{p_cV_c}{RT_c}\left(\frac{p_{cr}}{p_c}\cdot\frac{T_c}{T_{c1}} - 1\right); \tag{23}$$

$$\dot{m}_{max} = A\frac{p_a}{\sqrt{RT_a}}\sqrt{k\left(\frac{2}{k+1}\right)^{(k+1)/(k-1)}}. \tag{24}$$

Pentru determinarea temperaturii T_{c1} a gazului din cameră la finele primei etape se apelează la relația (12), în care se aplică condiția $p=p_{cr}$, astfel că

$$T_{c1} = T_a\frac{n}{1+(p_c/p_{cr})(nT_a/T_c-1)}. \tag{25}$$

Corelînd relațiile (23) și (25), în final, rezultă

$$\Delta m_I = \frac{1}{n}\cdot\frac{V_c}{RT_a}(p_{cr}-p_c). \tag{26}$$

Prin raportarea relațiilor (26) și (24) rezultă timpul de umplere pentru prima etapă:

$$\tau_{uI} = \frac{\Delta m_I}{\dot{m}_{max}} = \frac{V_c}{A}\cdot\frac{1}{n}\cdot\frac{1}{\sqrt{kRT_a}}\left(\frac{p_{cr}}{p_a}-\frac{p_c}{p_a}\right)\sqrt{\left(\frac{k+1}{2}\right)^{(k+1)/(k-1)}}. \tag{27}$$

Se notează prin:

$a_a = \sqrt{kRT_a}$ — viteza sunetului la temperatura T_a;

$\beta_{cr} = \frac{p_{cr}}{p_a} = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{k/(k-1)}$ — raportul critic de presiuni;

$\beta_{in} = p_c/p_a$ — raportul inițial de presiuni la declanșarea procesului de umplere

Rezultă imediat

$$\tau_{uI} = \frac{V_c}{A}\cdot\frac{1}{a_a}\cdot\frac{1}{n}(\beta_{cr}-\beta_{in})\sqrt{\left(\frac{k+1}{2}\right)^{(k+1)/(k-1)}}, \tag{28}$$

unde $n=k/[1+\xi(k-1)]$ reprezintă exponentul politropic al procesului ireversibil de umplere de cantitate variabilă, ξ luînd în considerare transferul căldurii δQ către mediul exterior.

Calculul timpului de umplere în etapa a doua. Întrucît în timpul acestei etape viteza și debitul de gaz evacuat prin rezistența turbulentă scad pe măsură ce presiunea în cameră crește, se impune efectuarea calculului pe bază diferențială. Ca urmare, după cum s-a arătat,

$$d\tau = \frac{dm}{\dot{m}}; \quad \tau_{uII} = \int_{\dot{m}_{max}}^{0}\frac{dm}{\dot{m}}, \tag{29}$$

Scanned with OKEN Scanner

Dacă se notează prin $\beta = p/p_a$ raportul de presiuni la un moment dat τ oarecare al etapei a doua, rezultă că debitul de gaz evacuat prin rezistența turbulentă în regim subcritic este precizat de relația

$$\dot{m} = A \frac{p_a}{\sqrt{RT_a}} \sqrt{2 \frac{k}{k-1}} \beta^{1/k} \sqrt{1-\beta^{(k-1)/k}}. \tag{30}$$

În ceea ce privește cantitatea de gaz infinit mică dm care pătrunde în cameră în timpul infinit mic $d\tau$ se constată că, prin corelarea relațiilor (4) și (11, a) rezultă

$$\frac{dm}{m} = \frac{dp}{p} - \frac{dT}{T} = \frac{dT}{nT_a - T}. \tag{31}$$

Se constată deci că

$$dm = m \frac{dT}{nT_a - T} = \frac{V_c}{R} p \frac{dT}{T(nT_a - T)}. \tag{32}$$

Pe baza relației (11) rezultă că

$$\frac{dT}{T(nT_a - T)} = \frac{1}{nT_a} \cdot \frac{dp}{p}. \tag{33}$$

Prin corelarea relațiilor (12) și (13) se ajunge la expresia

$$dm = \frac{V_c}{nRT_a} dp. \tag{34}$$

În aceste condiții se ajunge la concluzia că

$$d\tau = \frac{dm}{\dot{m}} = \frac{V_c}{A} \cdot \frac{1}{\sqrt{kRT_a}} \cdot \frac{1}{n} \sqrt{\frac{k-1}{2}} \frac{1}{p_a} \cdot \frac{dp}{\beta^{\frac{1}{k}} \sqrt{1-\beta^{(k-1)/k}}}.$$

Ținînd seama că $a_a = \sqrt{kRT_a}$ și că $p = \beta p_a$, adică $dp = p_a d\beta$, rezultă ecuația diferențială

$$d\tau = \frac{V_c}{A} \cdot \frac{1}{a_a} \cdot \frac{1}{n} \sqrt{\frac{k-1}{2}} \frac{d\beta}{\beta^{1/k} \sqrt{1-\beta^{(k-1)/k}}} \tag{35}$$

Prin integrare se obține

$$\tau_{uII} = \frac{V_c}{A} \cdot \frac{1}{a_a} \cdot \frac{1}{n} \sqrt{\frac{k-1}{2}} \int_{\beta_{cr}}^{1} \frac{d\beta}{\beta^{1/k} \sqrt{1-\beta^{(k-1)/k}}}. \tag{36}$$

Pentru efectuarea integrării se procedează la schimbarea variabilei, observînd că $\beta < 1$:

$$z^2 = 1 - \beta^{(k-1)/k}; \qquad d\beta = -2 \frac{k}{k-1} \beta^{1/k} z dz.$$

Rezultă imediat că

$$\int_{\beta_{cr}}^{1} \frac{d\beta}{\beta^{1/k} \sqrt{1-\beta^{(k-1)/k}}} = 2 \frac{k}{k-1} \int_{0}^{\sqrt{(k-1)/(k+1)}} dz = \frac{2k}{\sqrt{k^2-1}}. \tag{37}$$

Scanned with OKEN Scanner

Se ajunge la concluzia că timpul de umplere al etapei a doua este precizat de relația

$$\tau_{uII}=\frac{V_c}{A}\cdot\frac{1}{a_a}\cdot\frac{1}{n}\,k\sqrt{\frac{2}{k+1}}\,. \qquad (38)$$

Calculul timpului total de umplere. Acest timp se obține prin însumarea timpilor corespunzători celor două etape:

$$\tau_u=\tau_{uI}+\tau_{uII}=\frac{1}{n}\cdot\frac{V_c}{A}\cdot\frac{1}{a_a}\left[(\beta_{cr}-\beta_{in})\sqrt{\left(\frac{k+1}{2}\right)^{(k+1)/(k-1)}}+k\sqrt{\frac{2}{k+1}}\right]\text{[s]}, \qquad (39)$$

unde $\beta_{in}=0\ldots\beta_{cr}=0{,}528$ în cazul aerului ($k=1{,}4$).

Pentru a evidenția influența schimbului de căldură între camera pneumatică și mediul exterior asupra timpului de umplere se procedează la reprezentarea grafică a funcției adimensionale

$$\bar{\tau}_u=\frac{\tau_u}{V_c/(Aa_a)}=\frac{1}{n}\left[(\beta_{cr}-\beta_{in})\sqrt{\left(\frac{k+1}{2}\right)^{(k+1)/(k-1)}}+k\sqrt{\frac{2}{k+1}}\right]. \qquad (40)$$

Considerînd cazul aerului ($k=1{,}4$) se determină:

$$K_1=\sqrt{\left(\frac{k+1}{2}\right)^{(k+1)/(k-1)}}=1{,}728;\qquad K_2=k\sqrt{\frac{2}{k+1}}=1{,}278.$$

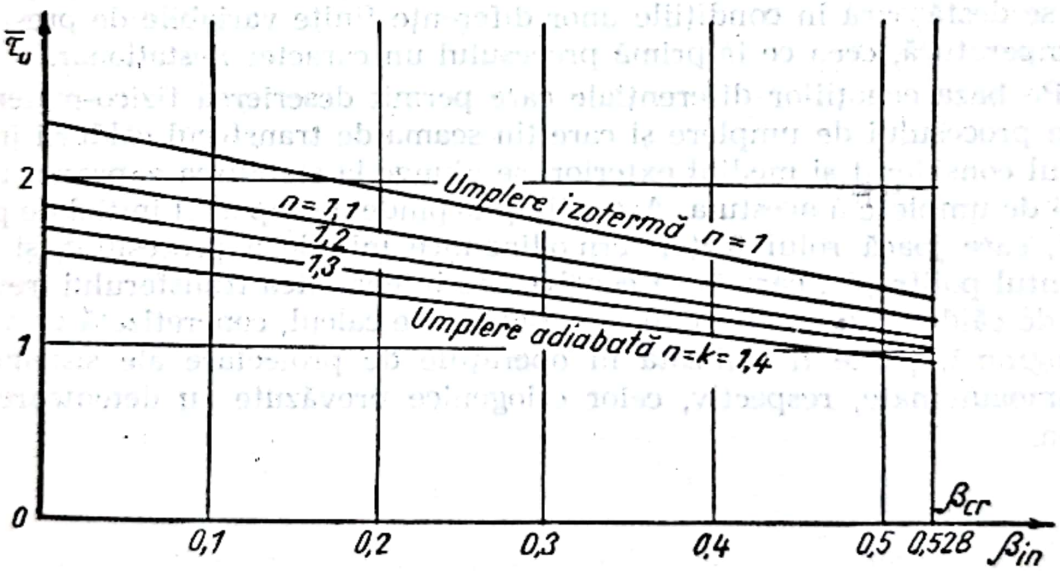


Fig. 8.5.

Ca urmare deci, relația (40) devine

$$\bar{\tau}_u=\frac{1}{n}\left[1{,}728(0{,}528-\beta_{in})+1{,}278\right]=\frac{2{,}19-1{,}728\,\beta_{in}}{n}\,. \qquad (41)$$

Se reprezintă grafic funcția adimensională $\bar{\tau}_u=\tau(\beta_{in}, n)$, în care $\beta_{in}=0\ldots\beta_{cr}=0{,}528$ iar $n=1\ldots k=1{,}4$. Din fig. 8.5 rezultă următoarele:

— pentru un exponent politropic n dat, timpul de umplere a unui spațiu de volum constant scade liniar pe măsură ce raportul inițial de pre-

Scanned with OKEN Scanner

siuni β_{in} crește; reducerea timpului este cu atît mai accentuată, cu cît transferul de căldură cu exteriorul este mai intens, adică n este mai mic;

— pentru un raport inițial de presiuni dat, timpul de umplere se micșorează pe măsură ce transferul de căldură către exterior se atenuează, adică exponentul politropic n crește.

În condiții reale de umplere, rezistența turbulentă care face legătura între conducta de alimentare și camera pneumatică funcționează în condițiile unui coeficient de debit $\alpha < 1$. Evident, în această situație, timpul de umplere se majorează întrucît debitul real de gaz care alimentează camera este inferior celui teoretic. Ca urmare, global, timpul de umplere real al unui spațiu de volum constant poate fi determinat, orientativ, cu ajutorul relației

$$\tau_{u\ real} = \tau_{u\ teoretic}/\alpha > \tau_{u\ teoretic}. \qquad (42)$$

6. Concluzii

Prin analiza termodinamică a procesului ireversibil, nestaționar, de umplere politropică a unui spațiu de volum constant se poate determina timpul de umplere. Se demonstrează posibilitatea politropizării unui proces termodinamic ireversibil de cantitate variabilă, de tipul umplerii, care se desfășoară în condițiile unor diferențe finite variabile de presiune și temperatură, ceea ce imprimă procesului un caracter nestaționar.

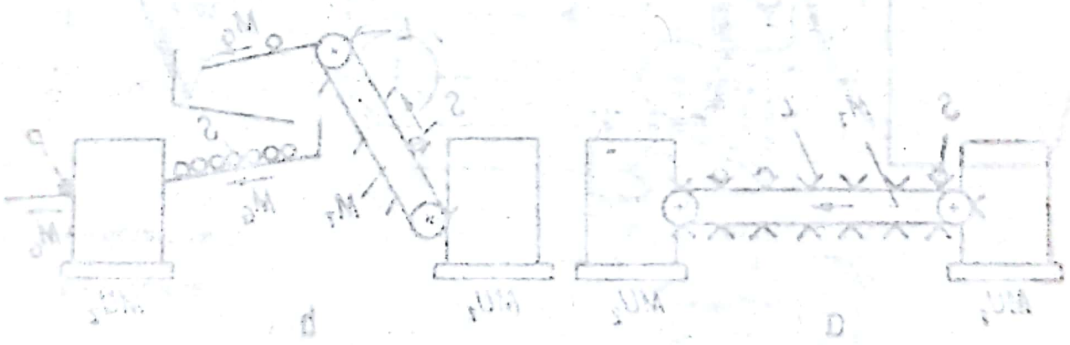
Pe baza ecuațiilor diferențiale care permit descrierea fizico-matematică a procesului de umplere și care țin seama de transferul căldurii între spațiul considerat și mediul exterior, se ajunge la stabilirea expresiei timpului de umplere a acestuia. Acest timp depinde de raportul inițial de presiuni, care joacă rolul forței termodinamice inițiale a procesului, și exponentul politropic, care ia în considerare intensitatea transferului ireversibil de căldură cu mediul exterior. Relația de calcul, concretizată printr-o nomogramă, poate fi utilizată în operațiile de proiectare ale sistemelor pneumoautomate, respectiv, celor criogenice prevăzute cu detentoare cu piston.

BIBLIOGRAFIE

1. ZALMANZON, A. I. *Protocinie elementi pnevmoavtomaticeskih priborov kontrolia i upravleniia.* Moscova, Izd-vo Akad. Nauk S.S.S.R., 1961.
2. RADCENCO, V. *Analiza termodinamică a proceselor teoretice de umplere și evacuare a gazului din cilindrul detentorului cu piston.* În: Bulet. Inst. Polit. București, XXVII, 3, 1965.
3. ANDERSEN, B. *The Analysis and Design of Pneumatic Systems.* New York, John Wiley & Sons, 1967.

Scanned with OKEN Scanner

4. RADCENCO, V. *Teoreticeskoe issledovanie gazotermodinamiceskih proţessov porşnevih detanderov.* În: Rev. Roum. Sc. techniques — Electrot. et Energ. 14, 1, 1969.
5. RADCENCO, LUMINIŢA. *Miniamplificator pneumatic pentru presiuni joase.* Comunicare prezentată la sesiunea ştiinţifică a Inst. Polit. Bucureşti, 1974.
6. IBRAGHIMOV, I. A. ş.a. *Elementi i sistemi pnevmoavtomatiki.* Moscova, Vîşşaia Şcola, 1975.
7. RADCENCO, V. *Termodinamică tehnică şi maşini termice — Procese ireversibile.* Bucureşti, Ed. Did. şi Ped., 1976.
8. DEMIAN, Tr. şi BANU, V. *Micromotoare pneumatice liniare şi rotative.* Bucureşti, Ed. Tehnică, 1984.
9. RADCENCO, V., ALEXANDRESCU, N. ş.a. *Calculul şi proiectarea elementelor şi schemelor pneumatice de automatizare.* Bucureşti, Ed. Tehnică, 1985.



Scanned with OKEN Scanner

9

Mecanisme de transport cu lanț utilizate în sistemele de alimentare automată a mașinilor-unelte

Dr. ing. *Alexandru Dorin*
Ing. *Nicolae Predincea*
Dr. ing. *Adrian Ghionea*
Institutul Politehnic București

1. Generalități

Mecanismul de transport (transportorul) este unul dintre elementele componente ale sistemului de alimentare automată cu semifabricate a mașinii-unelte avînd rolul de a transporta semifabricatele de la mecanismul de acumulare la mecanismul de alimentare (alimentator), cînd cele două mecanisme sînt dispuse la o distanță relativ mare unul față de celălalt.

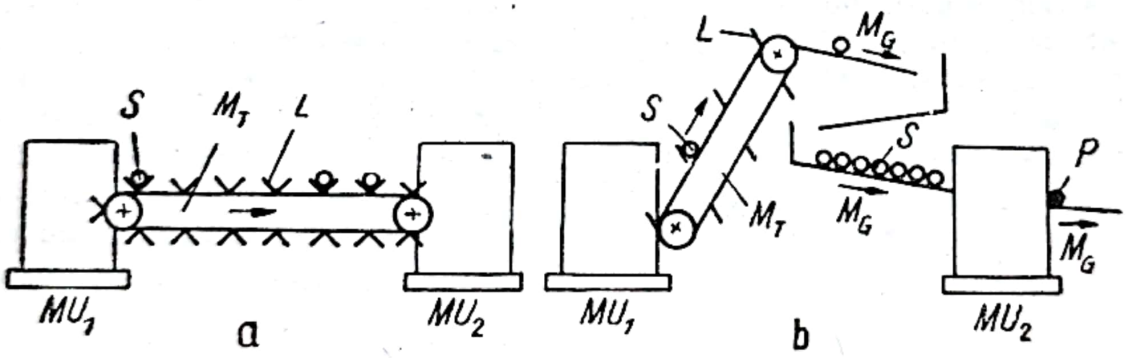


Fig. 9.1. Dispunerea mecanismelor de transport în sistemul de alimentare:
M_T — mecanism de transport; MU_1, MU_2 — mașini-unelte; M_G — magazin gravitațional; S — semifabricat; P — piesă; L — paletă.

În prezent, mecanismele de transport sînt folosite pentru realizarea transportului semifabricatelor între mașinile-unelte (fig. 1, *a*) sau pentru realizarea unui transport intermediar între mașinile-unelte (fig. 9.1, *b*) din cadrul liniilor automate sau sistemelor flexibile de fabricație.

Pe lîngă funcția de transport, transportoarele pot îndeplini și funcțiile de depozitare și livrare (fig. 9.2), acumulare, livrare, alimentare și evacuare (fig. 9.3), precum și alte asociații ale funcțiilor de manipulare

Scanned with OKEN Scanner

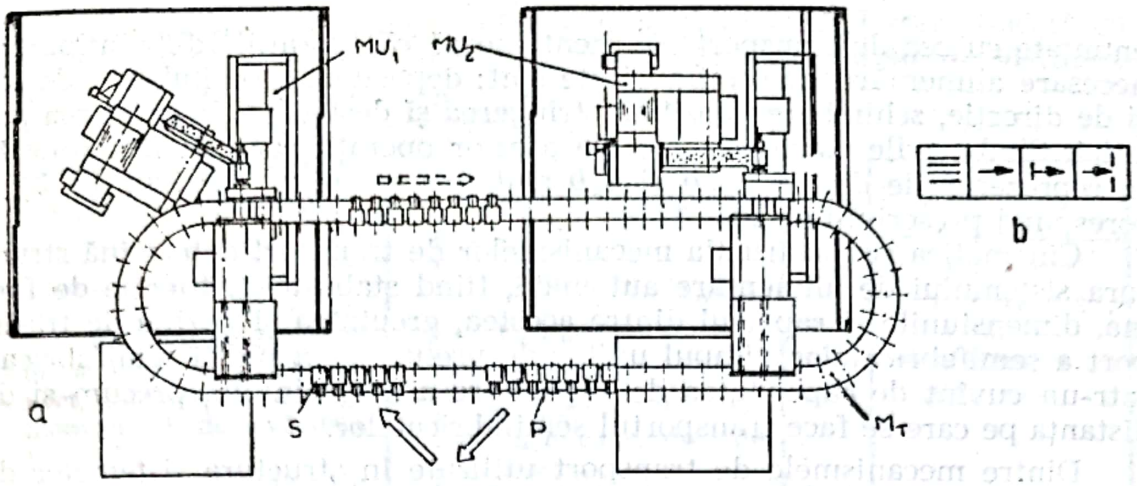


Fig. 9.2. Mecanism de transport cu funcţii de depozitare, de transport şi de livrare.

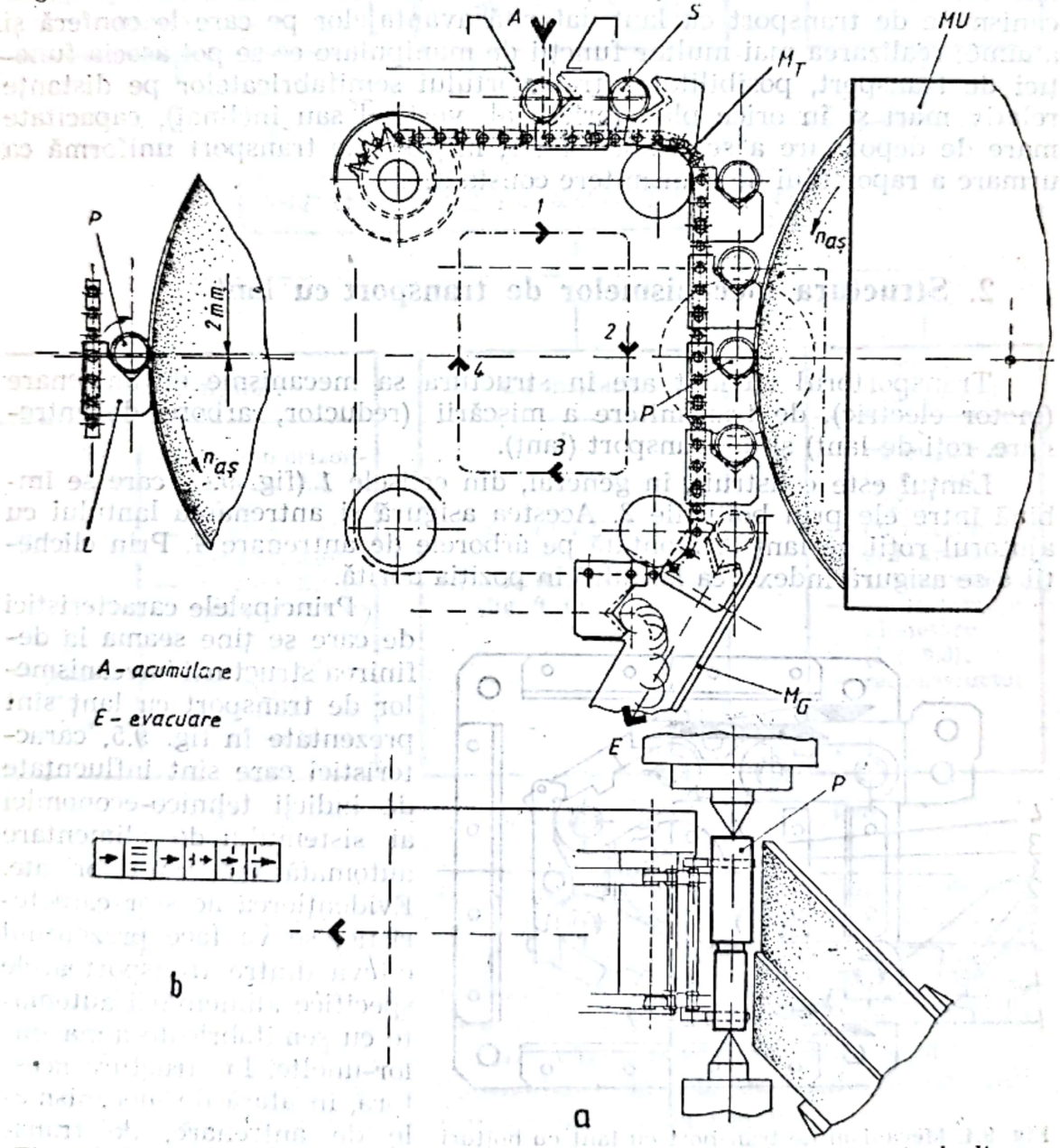


Fig. 9.3. Mecanism de transport cu funcţii de acumulare, de transport, de livrare, de alimentare şi de evacuare.

Scanned with OKEN Scanner

enunțate cu cea de transport. Se menționează că operațiile de manipulare necesare alimentării cu semifabricate sînt: depozitarea, schimbarea de loc și de direcție, schimbarea poziției, strîngerea și desfacerea, verificarea poziției. Simbolurile convenționale ale acestor operații care au fost folosite în reprezentările din fig. 2, *b* și 3, *b* sînt prezentate în lucrările [2, 3] și corespund prescripțiilor VDI 3239.

Cinematica și construcția mecanismelor de transport determină structura sistemului de alimentare automată, fiind stabilite în funcție de forma, dimensiunile și raportul dintre acestea, greutatea și poziția de transport a semifabricatelor, timpul unitar de prelucrare a piesei semifabricat, într-un cuvînt de capacitatea de depozitare a magazinului, precum și de distanța pe care se face transportul semifabricatelor.

Dintre mecanismele de transport utilizate în structura sistemelor de alimentare automată cu semifabricate a mașinilor-unelte s-au impus mecanismele de transport cu lanț datorită avantajelor pe care le conferă și anume: realizarea mai multor funcții de manipulare ce se pot asocia funcției de transport, posibilitatea transportului semifabricatelor pe distanțe relativ mari și în orice plan (orizontal, vertical sau înclinat), capacitate mare de depozitare a semifabricatelor, mișcare de transport uniformă ca urmare a raportului de transmitere constant.

2. Structura mecanismelor de transport cu lanț

Transportorul cu lanț are în structura sa mecanisme de antrenare (motor electric), de transmitere a mișcării (reductor, arbore de antrenare, roți de lanț) și de transport (lanț).

Lanțul este construit, în general, din eclisele *1* (fig. 9.4), care se îmbină între ele prin bolțurile *2*. Acestea asigură și antrenarea lanțului cu ajutorul roții de lanț *3*, montată pe arborele de antrenare *4*. Prin clichetii *5* se asigură indexarea lanțului în poziția dorită.

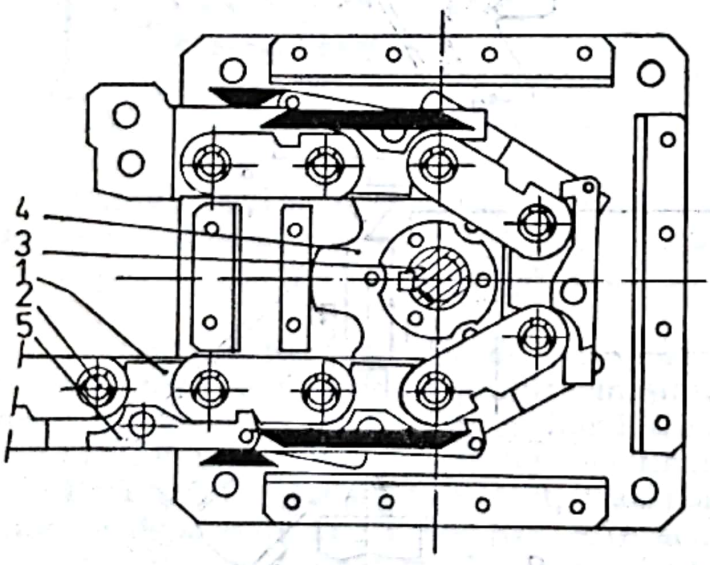


Fig. 9.4. Mecanism de transport cu lanț cu bolțuri.

Principalele caracteristici de care se ține seama la definirea structurii mecanismelor de transport cu lanț sînt prezentate în fig. 9.5, caracteristici care sînt influențate de indicii tehnico-economici ai sistemului de alimentare automată cu semifabricate. Evidențierea acestor caracteristici se va face prezentînd cîteva dintre transportoarele specifice alimentării automate cu semifabricate a mașinilor-unelte. În structura acestora, în afară de mecanismele de antrenare, de trans-

Scanned with OKEN Scanner

mitere a mișcării, de transport intră și mecanismele de livrare bucată cu bucată a semifabricatelor, sistemul de comandă și elementele de susținere și de ghidare a semifabricatelor.

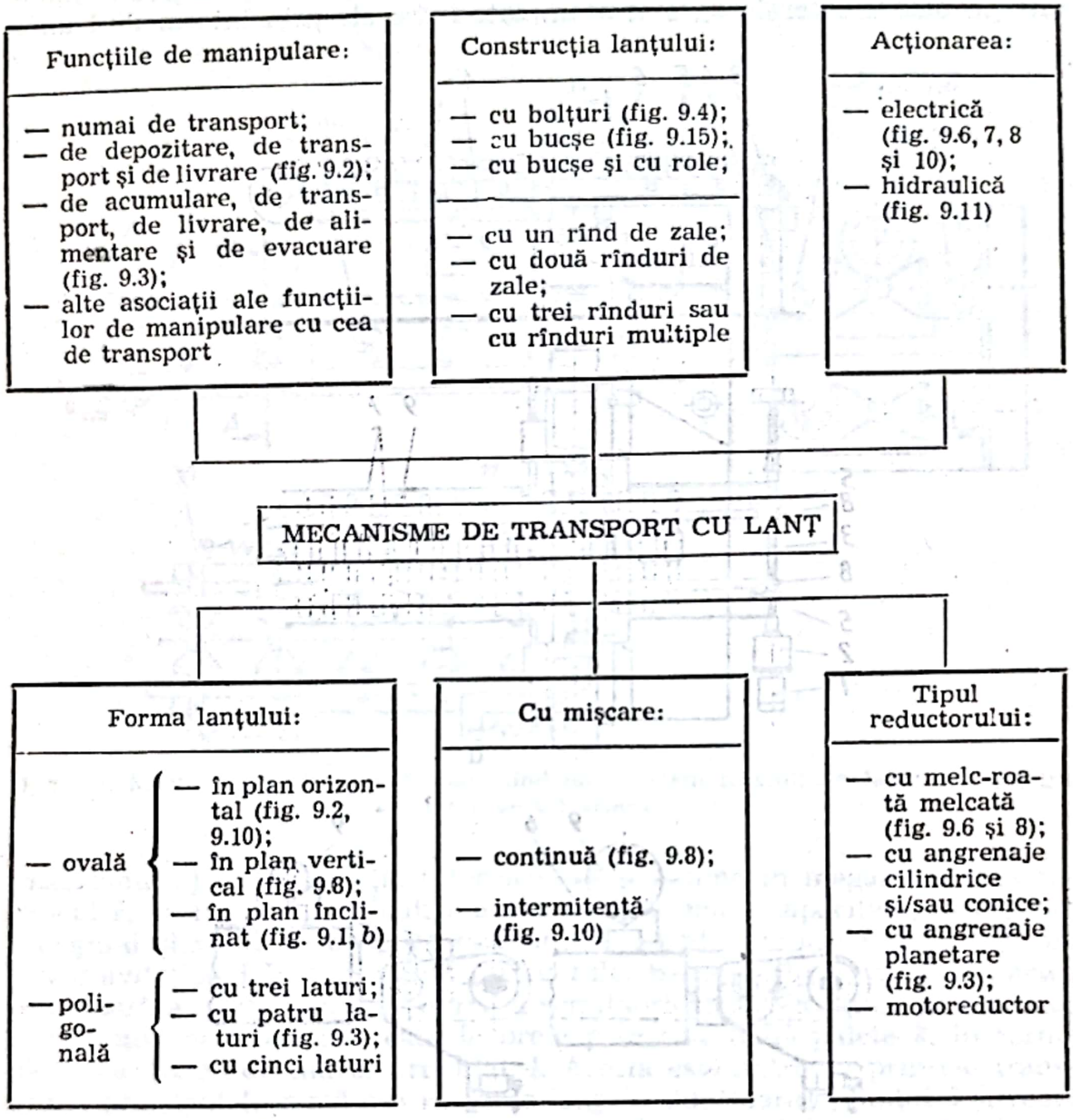


Fig. 9.5. Caracteristicile mecanismelor de transport cu lanț.

Transportorul cu lanț prezentat în fig. 9.6 este antrenat de motorul electric *1*. Prin intermediul reductorului *2*, mișcarea este transmisă arborelui *3* pe care sînt montate roțile de lanț *8*. Acestea antrenează cele două lanțuri paralele *5*, pe care sînt dispuse echidistant paletele *6*. Pereții laterali *7* limitează deplasarea axială a semifabricatelor *9* de tip arbore. Brațul înclinat *4* asigură poziția orizontală a transportorului. Păstrarea în același plan orizontal a axei semifabricatelor de diametre diferite se realizează datorită soluției constructive prezentate în fig. 9.6. *b*.

În fig. 9.7 este reprezentat un transportor cu lanț care deservește un sistem flexibil de fabricație. Roțile de lanț *6* (conducătoare) sînt antrenate în mișcare de rotație de către motoreductorul *4*, prin intermediul angrenajului conic *5*. Lanțurile *9*, sprijinite în mișcarea lor de ghidajele *7* (montate pe plăcile laterale *2*), sînt asamblate între ele prin intermediul unor

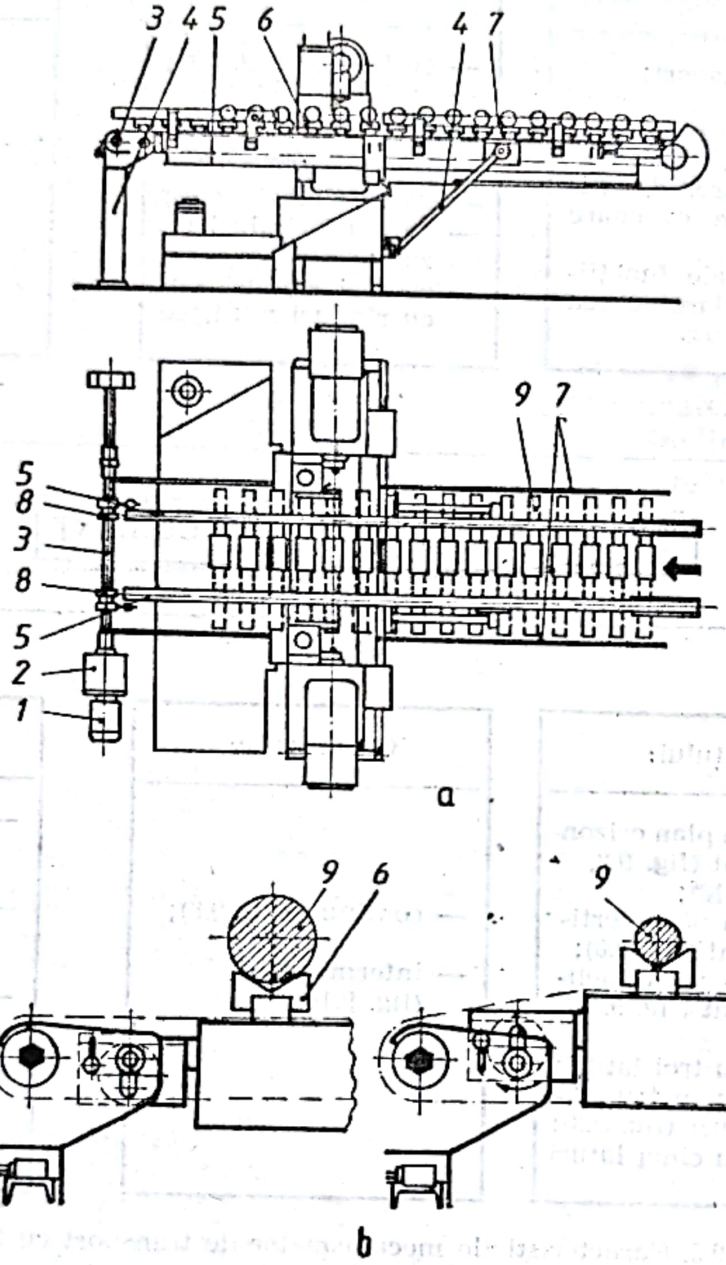


Fig. 9.6. Mecanism de transport cu lanț pentru semifabricate de tip arbore.

arbori, pe care se fixează liber rolele *3*. Acestea susțin și ghidează semifabricatele *8*. În zona ultimelor role (în sensul de transport al semifabricatelor) sînt dispuși limitatorii de oprire cu arc *10* și limitatorii elastici *11*. Primii au rolul de a reține semifabricatul fără ca mișcarea lanțului să fie întreruptă, iar ultimii de-a strînge semifabricatul pe limitatorii de oprire. Această poziție a semifabricatului, din care urmează să se facă ali-

Scanned with OKEN Scanner

mentarea, este semnalată sistemului de comandă printr-un traductor nefigurat în desen. Întinderea lanțului se realizează prin intermediul dispozitivului *1*.

Mecanismul de transport din fig. 9.8 asigură transportul continuu al semifabricatelor (depozitate la capătul sistemului flexibil de fabricație în

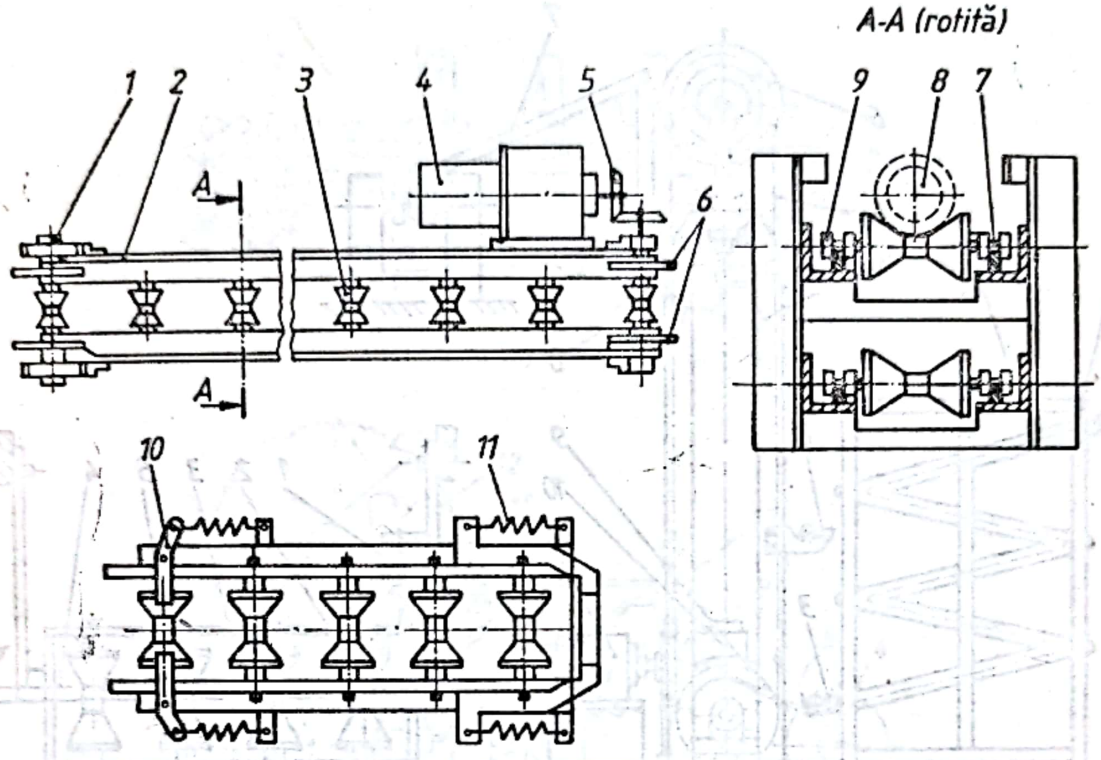


Fig. 9.7. Mecanism de transport aparținînd unui sistem flexibil de fabricație pentru piese de tip arbore.

magazinul *1*) într-o poziție intermediară și anume în magazinul gravitațional 7, de tip plan înclinat. Magazinul *1*, de mare capacitate, care poate îndeplini și rolul de magazin-tampon în cadrul aceluiași sistem, este de tip gravitațional în serpentină (*2*) cu role. Separatorul *3*, aflat la partea inferioară a magazinului *1*, livrează semifabricatele bucată cu bucată mecanismului de transport, care le preia prin cele două palete *8*, în formă de cupă, fixate de cadrul articulat *4*. Acesta este antrenat printr-o transmisie prin lanț formată din roata de lanț conducătoare *9*, lanțul 5 și roata de lanț condusă *6*. Roata *9* este acționată de motorul electric *11* prin intermediul reductorului *10*, prevăzut cu un angrenaj melc-roată melcată. În poziția extremă de sus, semifabricatul din paleta *8* rulează cu alunecare pe planul înclinat 7, iar de pe acesta cade pe rolele mecanismului de transport *12*, de construcție similară cu cel reprezentat în fig. 9.7.

Piesele parțial prelucrate sînt depozitate într-un magazin gravitațional de tip serpentină, iar din acesta sînt transferate bucată cu bucată la un mecanism de transport situat între mașinile-unelte pe care se face prelucrarea. Transferul este realizat de un dispozitiv de descărcare reprezentat în fig. 9.9. Acesta este constituit dintr-un cadru, *2*, de tip leagăn, prevăzut cu rolele de susținere *5*. Axa *4* a leagănului este deplasată cu dis-

Scanned with OKEN Scanner

tanța d în raport cu planul transversal median al rolelor, *3*, și, în consecință, la căderea unei piese din magazinul gravitațional pe leagănul *2*, acesta, prin basculare, o transferă elementelor de susținere și de ghidare ale transportorului dintre mașini. Arcul *1* asigură o poziție stabilă a leagănului în planul orizontal.

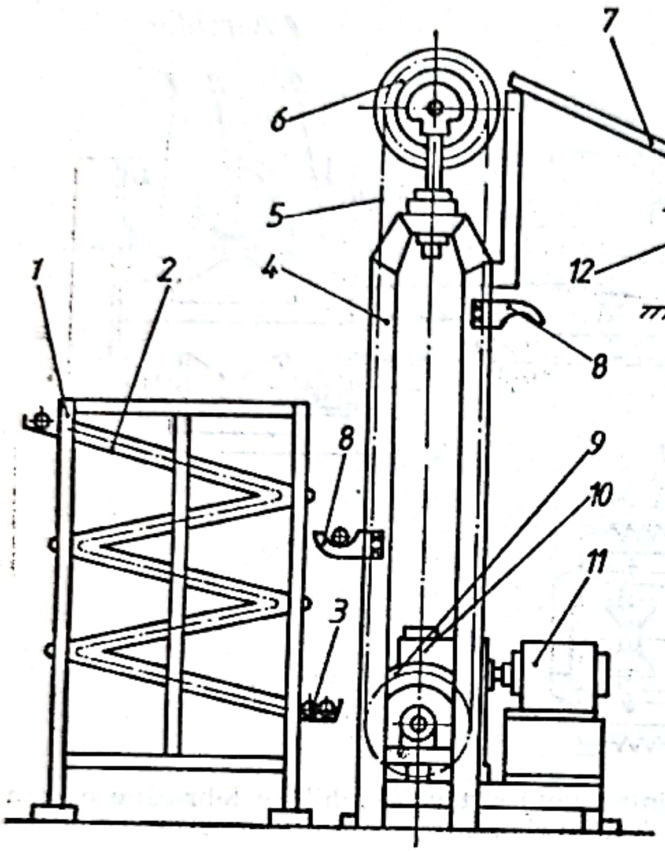


Fig. 9.8. Mecanism de transport intermediar cu lanț dispus în plan vertical.

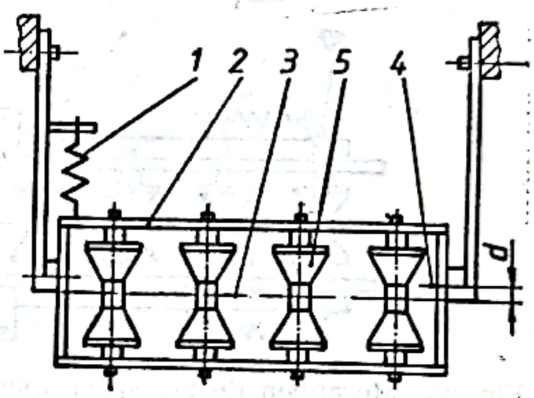


Fig 9.9. Mecanism de evacuare basculant cu role.

În fig. 9.10 este reprezentat un mecanism de transport pentru semifabricate prismatice grele, utilizat în sistemele de alimentare cu semifabricate a liniilor și sistemelor flexibile de fabricație. Semifabricatul *1* se

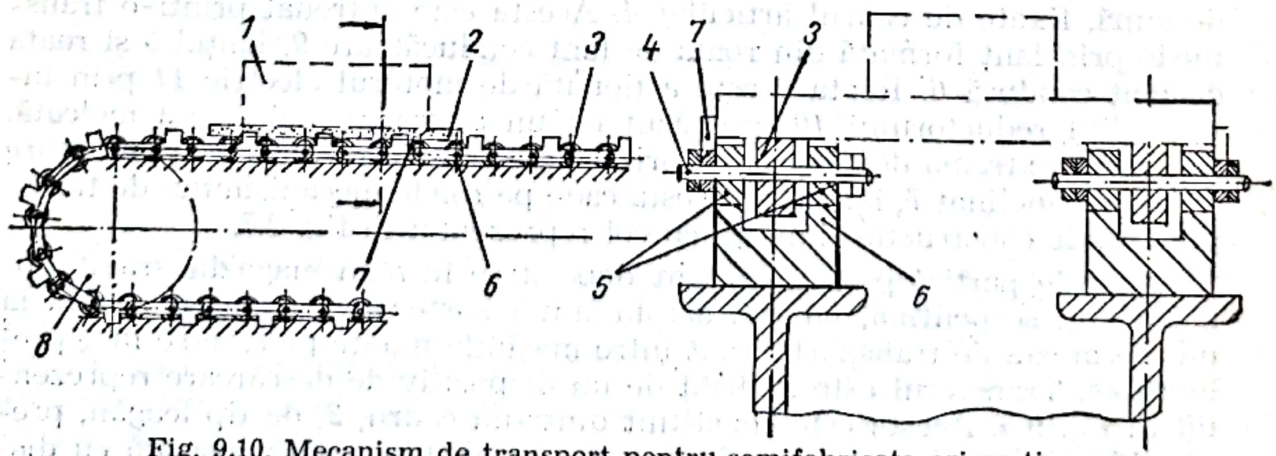


Fig. 9.10. Mecanism de transport pentru semifabricate prismatice.

Scanned with OKEN Scanner

dispune pe paleta *2*, care este susținută de mai multe perechi de role *3*, montate pe arborii *4*. Pe fiecare arbore este fixată și cîte o pereche de role de transport *5*. Rolele *5* sînt susținute și conduse de ghidajele *6*. O parte din zalele de legătură *7* asigură ghidarea laterală a paletei *2*. Antrenarea lanțului o realizează roata conducătoare *8*.

Transportoarele cu lanț pot avea o mișcare continuă sau intermitentă.

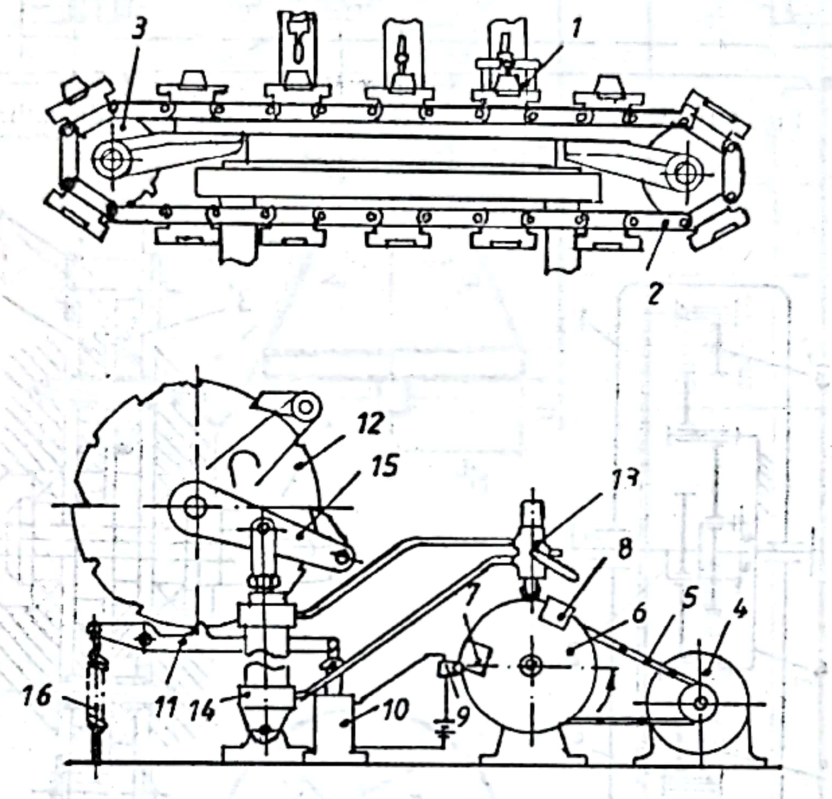


Fig. 9.11. Mecanism de transport cu mișcare intermitentă.

Mișcarea intermitentă, necesară pentru îndeplinirea funcției de livrare a semifabricatului, poate fi realizată în diverse moduri. În fig. 9.11 această mișcare este realizată cu un mecanism cu clichet. De la motorul electric *4*, mișcarea este transmisă roții de lanț printr-un reductor și o transmisie prin curea *5*. Pe arborele roții de lanț se află tamburul *6*, pe care sînt fixate camele *7* și *8*. Microîntrerupătorul *9*, acționat de cama *7*, comandă electromagnetul *10*. Acesta acționează pîrghia *11*, care dezindexează roata de clichet *12*. În același timp, cama *8* acționează destribuitorul *13* care comandă motorul hidraulic *14*. În cursa lui de ridicare, tija pistonului acționează mecanismul clichet-roată de clichet (*15—12*). În cursa de coborîre a pistonului, arcul *16* acționează pîrghia *11* pentru indexare (celelalte notații reprezintă: *1* — caseta portpiesă; *2* — zona de lanț; *3* — roata).

În general, acționarea mecanismelor de transport este realizată cu ajutorul motoarelor electrice asincrone de curent alternativ (v. fig. 9.6, 7, 8 și 11). În fig. 9.12 este reprezentat un caz particular, cînd acționarea transportorului cu lanț este realizată de un motor hidraulic liniar *3*. Printr-un reductor *4*, care conține și roata dințată a mecanismului pinion-cremalieră,

Scanned with OKEN Scanner

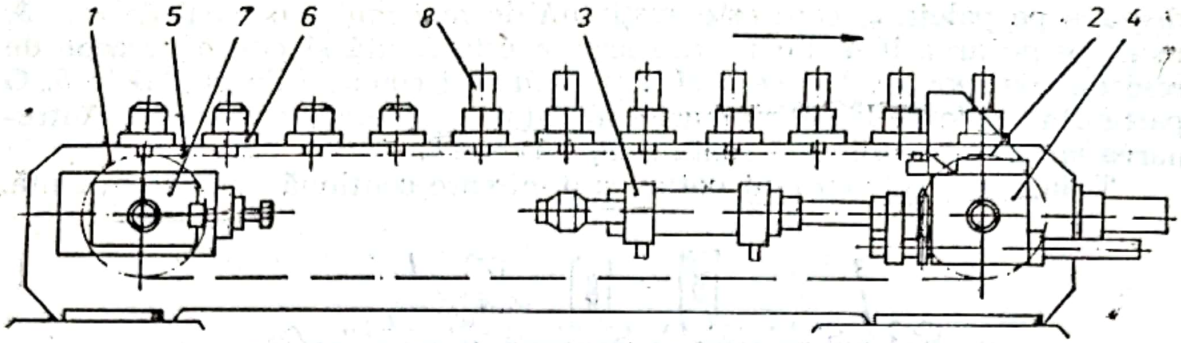


Fig. 9.12. Mecanism de transport cu lanț acționat hidraulic.

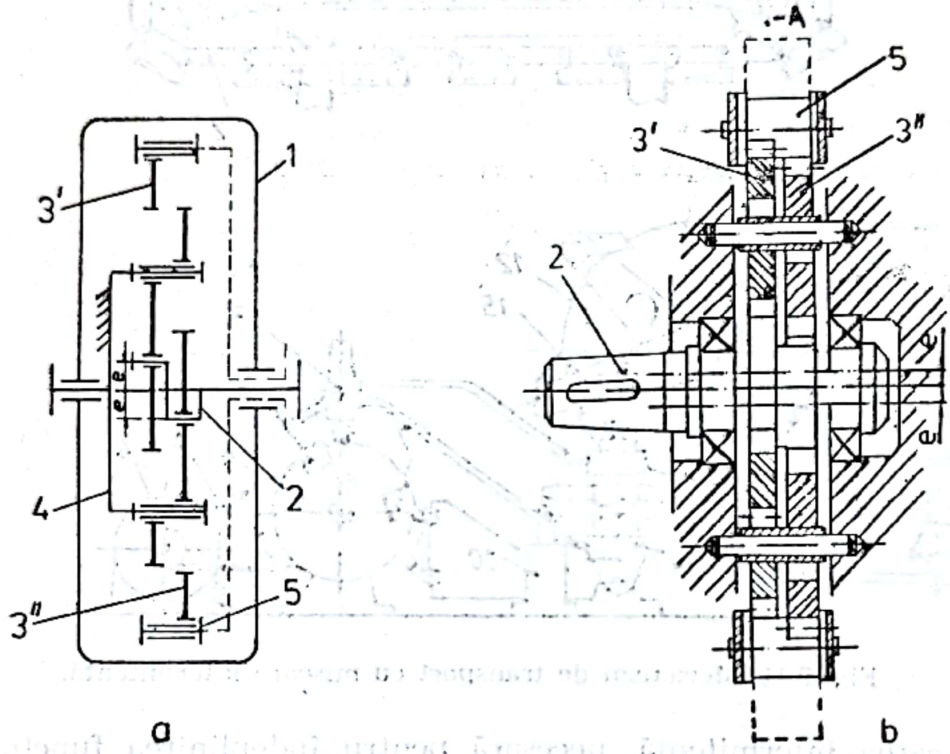
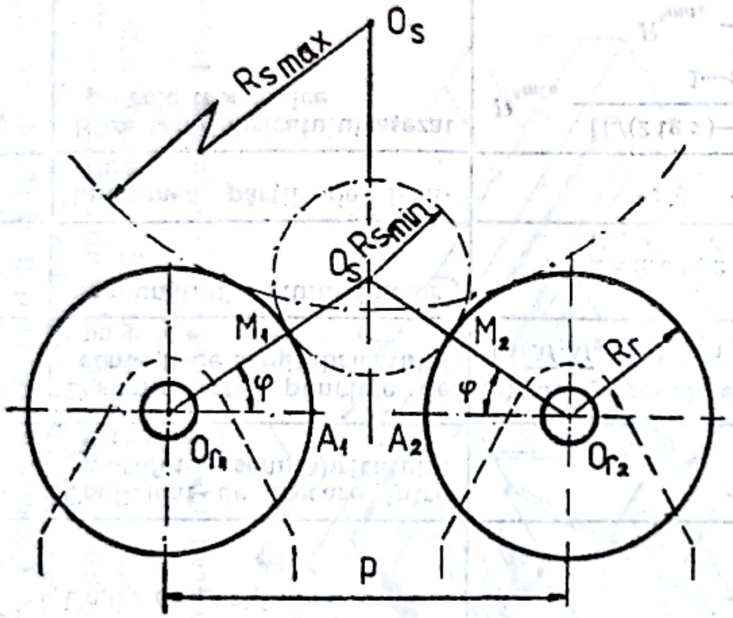
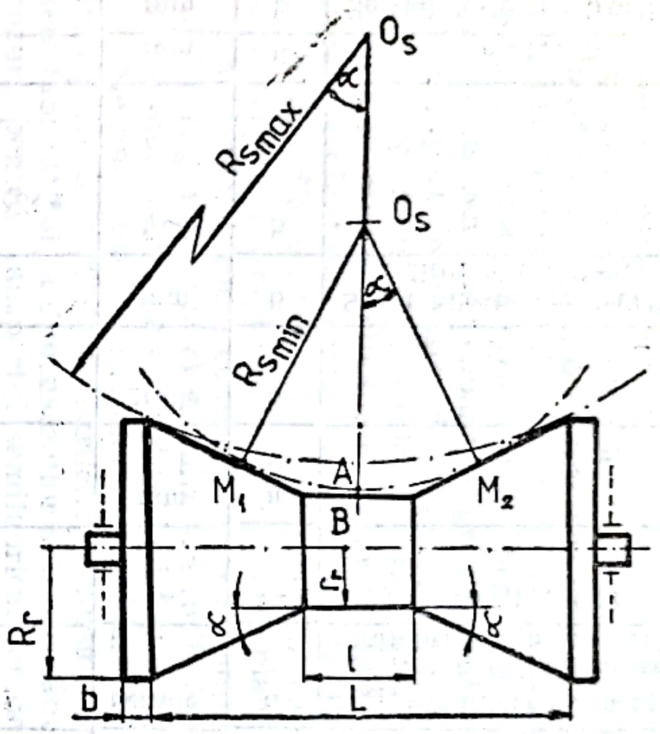


Fig. 9.13. Mecanism de transport cu lanț cu reductor planetar.

Caracteristicile dimensionale ale rolelor cilindrice și tronconice *Tabelul 9.1*



a



b

Simbolul	Denumirea elementului	Relațiile de calcul	Unitatea de măsură	Fig.	Observații
1	2	3	4	5	6
R_r, r_r	Razele rolelor de susținere	—	mm	a, b	—
p	Distanța între centrele a două role	$p=2R_r+\overline{A_1A_2}$	mm	a	$\overline{A_1A_2}$ se alege constructiv

Tabelul 9.1 (continuare)

1	2	3	4	5	6
L	Lungimea activă a rolei	—	mm	b	Pentru rolele cilindrice se alege cu minim 20 mm mai mare decît lungimea semifabricatului
R	Raza semifabricatului așezat pe role cilindrice	$R_s = \frac{p}{2\cos\varphi_{min}} - R_r$	mm	a	$R_{s_{max}} \leqslant p + 2R$ dacă se dispune un semifabricat pe fiecare pereche de role. R_s — poate crește dacă se lasă un *pas* liber
φ	Unghi de poziție	—	grade	a	$\varphi_{min} = 7°$ din condiția $\operatorname{tg}\varphi \geqslant \mu$, pentru a evita blocarea semifabricatului între role
μ	Coeficient de frecare între suprafețele semifabricatului și rolelor	—	—	—	$\mu = 0{,}1 \ldots 0{,}12$
$\overline{M_1M_2}$	Distanța între punctele de contact ale semifabricatului cu rolele	a) $\overline{M_1M_2} = p - 2R_r\cos\varphi$ b) $\overline{M_1M_2} = 2R_s \cdot \sin\alpha$	mm	a b	
α	Semiunghiul conului rolelor	$\alpha = \operatorname{arc\,tg} 2\,\frac{(R_r - r_r)_*}{(L - l)}$	grade	b	
l	Lungimea părții de legătură	—	mm	b	Se stabilește constructiv din condiția de rezistență
R_s	Raza semifabricatului așezat pe role tronconice	$R_{s_{min}}\,\frac{[L/(2\operatorname{tg}\alpha) - (R_r - r_r) + c]}{1 - \cos\alpha}\cos\alpha$ $R_{s_{max}}\,\frac{L}{(2\sin\alpha)}$	mm	b	
c	Distanța de siguranță	$c = \overline{AB}$	mm	b	$c = 1 \ldots 3$
b	Lungimea gulerului rolei	—	mm	b	Se stabilește constructiv $b = 5 \ldots 12$

Scanned with OKEN Scanner

mișcarea este furnizată transmisiei prin lanț constituită din roțile *2* (conducătoare) și *1* (condusă) și lanțul *5*, de care sînt fixate paletele *6*, care susțin și ghidează semifabricatele *8*. Întinderea lanțului este făcută prin intermediul dispozitivului 7.

În cazul acționării electrice a mecanismului de transport, mișcarea este transmisă roții de lanț conducătoare prin intermediul unui reductor de turație. Frecvent sînt utilizate reductoarele cu angrenaje cilindrice, conice sau melcate, montate în serie sau în serie-paralel. În situațiile în care se impune realizarea unor gabarite și greutăți reduse, a unui randament ridicat, a unui raport de transfer de demultiplicare de valoare redusă și constant se folosesc motoreductoarele (v. fig. 9.7) sau reductoarele planetare.

Un asemenea reductor planetar utilizat pentru antrenarea transportoarelor cu lanț este reprezentat în fig. 9.13. Reductorul, a cărui cinematică reiese din fig. 9.13, *a*, este construit din carcasa *1*, brațul portsatelit *2* (prin care se introduce mișcarea), roțile planetare *3′* și *3″* cu profil special al danturii, roata centrală fixă *4* și lanțul cu role *5*. Antrenarea lanțului *5* (fig. 9.13, *b* și *c*) o realizează roțile *3′* și *3″*. Întinderea lanțului se face manual prin intermediul patinei *6* și a șurubului 7.

Mecanismele de susținere și ghidare a semifabricatelor în timpul transportului sînt de construcție diversă datorită formei geometrice a semifabricatelor, a dimensiunilor și a greutății acestora. În cele mai multe cazuri, pentru transportul semifabricatelor de tip arbore se folosesc role cilindrice sau dublu conice (v. tabelul 9.1), susținute de arbori a căror

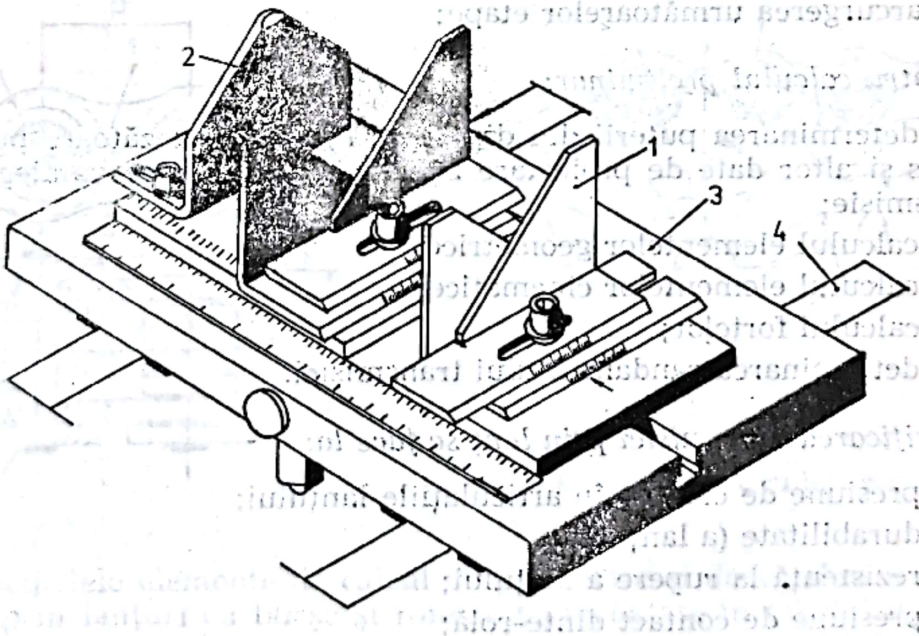


Fig. 9.14. Mecanism de tip paletă reglabil pentru susținerea semifabricatelor.

capete sînt legate de lanțul transportorului. În tabelul 9.1 sînt reprezentate cele două tipuri de role, principalele dimensiuni caracteristice, precum și relațiile de calcul a razelor minimă $R_{s\,min}$ și maximă $R_{s\,max}$ ale semifabricatelor ce pot fi transportate de aceste role.

În soluția din fig. 9.14, semifabricatele sînt susținute de palete reglabile în funcție de diametrul și lungimea semifabricatelor. Reglarea palete-

Scanned with OKEN Scanner

lor în funcție de diametru se face din prismele *1*, iar în funcție de lungime din prismele *2*. Ansamblul, format din riglele reglabile ale paletei, ghidajele lor, precum și placa de susținere *3*, este fixat de un transportor cu lanț prin intermediul pieselor de legătură *4*.

3. Elemente de proiectare a transmisiei prin lanț

Calculele de proiectare a transmisiilor prin lanț se fac în două etape: în prima etapă calculul preliminar, iar în a doua calculul de verificare.

Datele inițiale la proiectarea unei transmisii cu lanț pentru mecanisme de transport sînt: puterea nominală P_n, turația nominală n_n, poziția relativă dintre mașinile-unelte sau mecanismele pe care le deservește transmisia (necesară pentru stabilirea distanței dintre axele roților de lanț), modul de funcționare (continuă sau intermitentă), modul de pornire (în gol sau în sarcină), poziția transmisiei (orizontală, verticală, înclinată), condițiile de gabarit, durabilitatea necesară, regimul de ungere.

Aceste date inițiale sînt necesare pentru efectuarea calculelor, conform metodologiilor cunoscute (STAS 5174-66) și la stabilirea adecvată a valorilor unor parametri ce intervin în aceste calcule [4, 9]. De exemplu, calculul de proiectare a transmisiilor prin lanț cu role cu zale scurte necesită parcurgerea următoarelor etape:

Pentru calculul preliminar:

— determinarea puterii din diagrama P_D, corespunzătoare puterii de transmis și altor date de proiectare P_{1n}, pe baza căreia se va alege lanțul de transmisie;
— calculul elementelor geometrice;
— calculul elementelor cinematice;
— calculul forțelor;
— determinarea randamentului transmisiei.

Verificarea transmisiei prin lanț se face la:

— presiune de contact în articulațiile lanțului;
— durabilitate (a lanțului);
— rezistență la rupere a lanțului;
— presiune de contact dinte-rolă;
— turație maximă admisibilă;
— număr de ciocniri admisibil;
— rezonanță la vibrații torsionale generate de efectul poligonal.

Lanțurile se întîlnesc într-o mare varietate constructivă impusă de domeniul de utilizare a acestora. Dintre acestea cele mai folosite sînt lanțurile cu bolțuri (v. fig. 9.4) lanțurile cu bucșe (fig. 9.15) și lanțurile cu bucșe și role (fig. 9.16). Ultimele au avantajul că prin intermediul rolelor

Scanned with OKEN Scanner

4, montate pe bucșele *5*, între lanț și flancurile roții de lanț *3*, frecarea devine de rostogolire, făcînd posibilă în acest caz atenuarea șocului ciocnirii din angrenarea lanțului cu roata de lanț. În acest scop există un joc funcțional între bucșele *4* (fixate în eclisele interioare *6*) și bolțurile *2* (fixate în eclisele exterioare *1*).

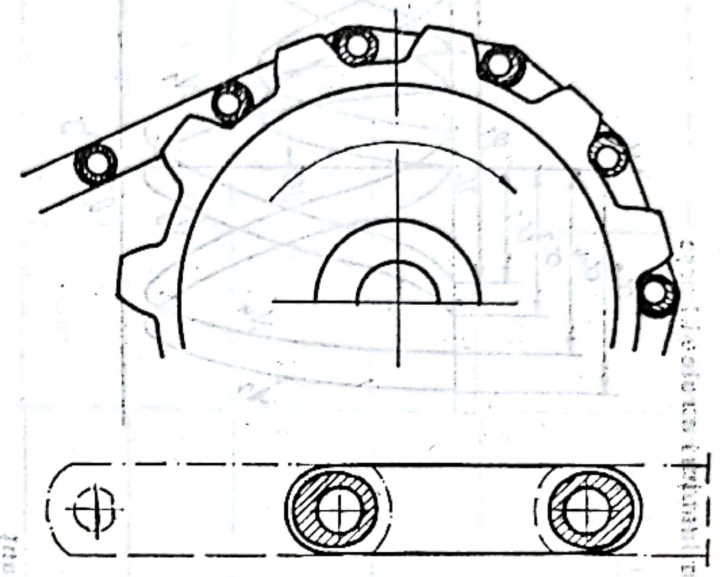


Fig. 9.15. Lanț cu bucșe.

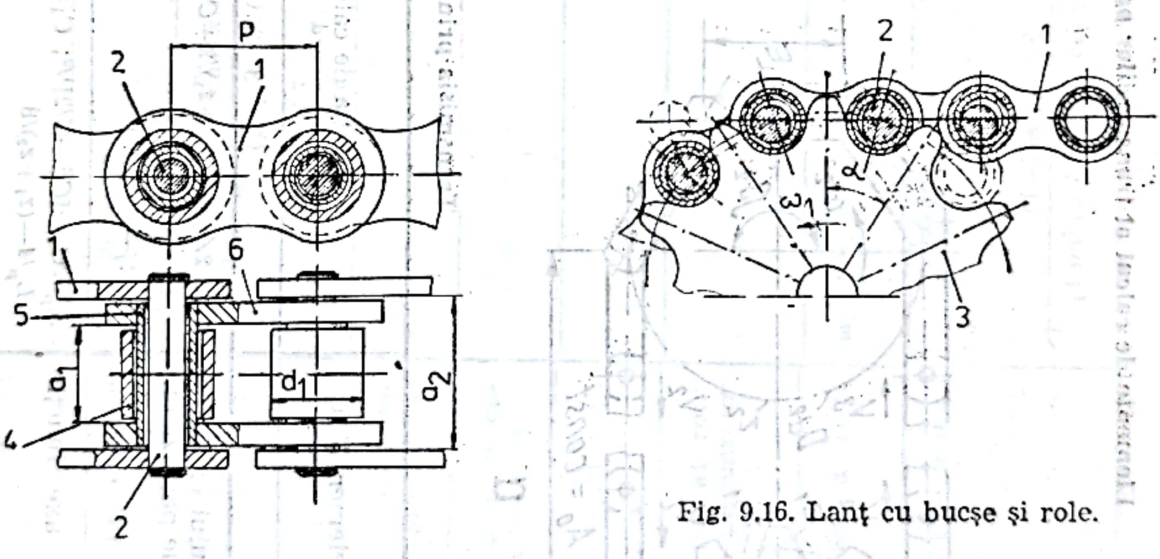


Fig. 9.16. Lanț cu bucșe și role.

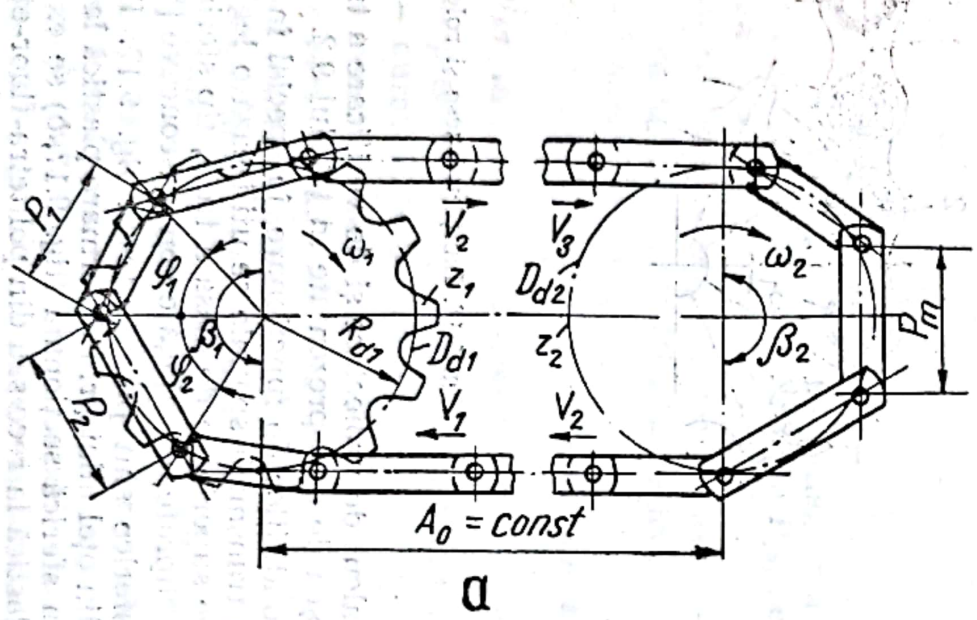
Principalele elemente de calcul de proiectare și de verificare a transmisiilor prin lanțuri cu bucșe și role sînt prezentate în tabelul 9.2.

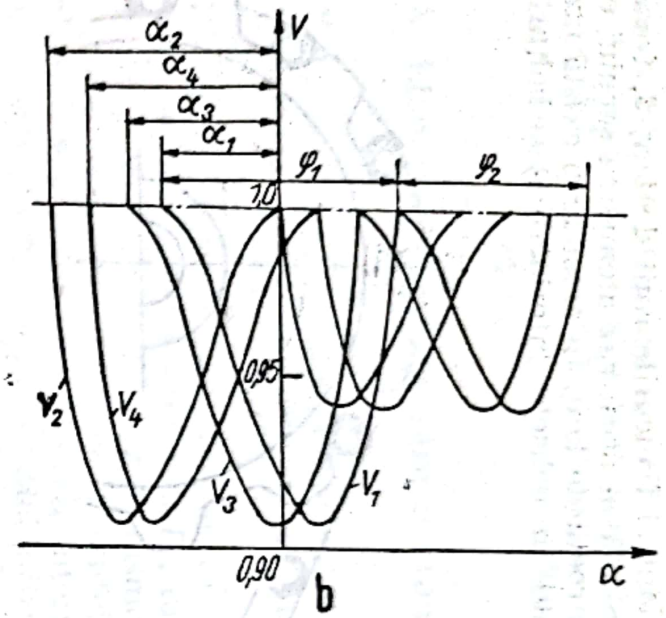
În vederea îmbunătățirii condițiilor de funcționare, în special în zona de contact, a lanțurilor pentru transmisii spațiale se utilizează o legătură între zale prin cuple cinematice superioare de clasa a treia, tip sferică, la care contactul se realizează pe suprafețe conjugate convex-concave [6].

Elementele articulațiilor sferice sînt prezentate în fig. 9.17. Bolțul (fig. 9.17, *a*) se confecționează din oțel aliat prin deformare plastică la rece, fiind tratat termochimic. Bucșa sferică secționată (fig. 9.17, *b*) se execută din oțel aliat prin deformare plastică la rece sau din politetra-fluor-etilenă

Scanned with OKEN Scanner

Elemente de calcul al transmisiilor prin lanţuri cu role şi bucşe *Tabelul 9.2*





Transmisia prin lanţ

Simbolul	Denumirea elementului	Relaţia de calcul	Unitatea de măsură	Valori recomandate
1	2	3	4	5
L_p	Lungimea lanţului exprimată în număr de paşi (zale);	$L_p=2A_D/p+(z_1+z_2)/2+C\,p/A_D$	Număr de zale	Se recomandă un număr par de zale (se elimină zalele de legătură pentru închiderea lanţului)
A_o	Distanţa între axe estimată	$C=(z_2-z_1)^2/(2\pi)$	mm	
A_p	Distanţa între axe funcţie de pas	$A_p=C_1+[C_1^2-C/2]^{1/2}$; $C_1=L_p/4-(z_1+z_2)/8$	Număr de zale	$A_p=(30\ldots80)P$
β_1, β_2	Unghiurile de înfăşurare a lanţului	$\beta_{1,2}=180°\pm2\arcsin[(D_{d2}-D_{d1})/2A_p\cdot p]$	Grd.	$\beta_1>130°$

Scanned with OKEN Scanner

A_c	Distanța dintre axe calculată;	$A_c = A_p \cdot p_m$	mm	
Z_e	Numărul de dinți ai roții z_1 acoperiți de o za			2
p_m	Pasul mediu măsurat între bolțuri	$p_m = (p_1 + p_2)/2$	mm	
φ_1, φ_2	Unghiurile corespunzătoare așezării zalelor pe roată	$\varphi_1 = 2 \text{ arc tg } \dfrac{\sin(4\pi/ze)}{(p_2/p_1 + \cos(4\pi/ze)}$; $\varphi_2 = \dfrac{8\pi}{ze} - \varphi_1$	rad.	
p_1	Pasul exterior al zalei corespunzător unghiului φ_1		mm	
p_2	Pasul interior al zalei corespunzător unghiului φ_2		mm	
α	Unghiul de rotire al roții de lanț z_1		rad.	
φ	Unghiul la centru al roții de lanț z_d, corespunzător unei zale		rad.	
ω_1	Viteza unghiulară a roții de lanț z_1	$\omega_1 = \pi n_1/30$	rad/s	
v_T	Viteza tangențială a bolțului rolei	$v_T = \dfrac{R_{d1} - \omega_1}{10^3} \left[\cos\psi + \dfrac{(1-\cos\psi)\sin\psi}{[4\sin^2(\varphi/2) - (1-\cos\varphi^3)]^{1/2}} \right]$	m/s	

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 9.2 (continuare)

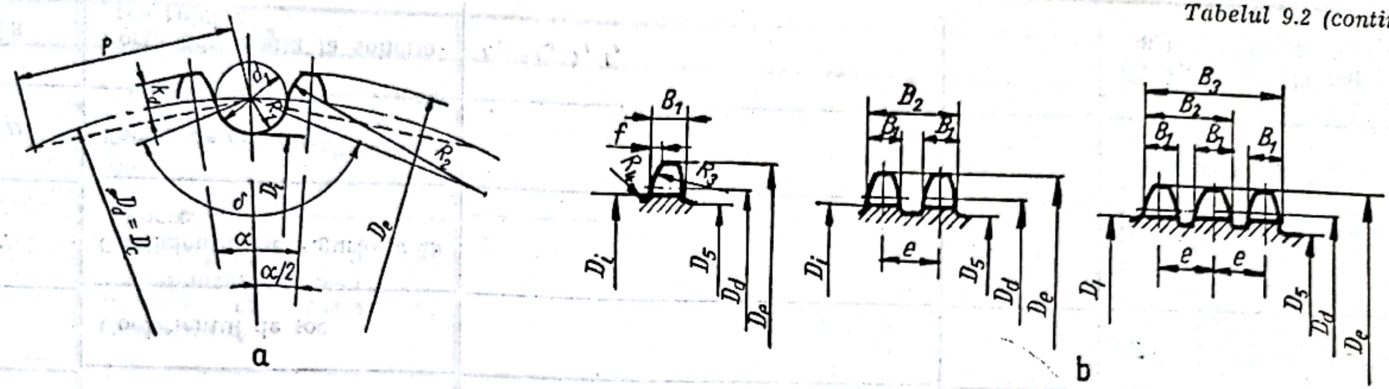
1	2	3	4	5
v_1, v_3	Vitezele porţiunilor de lanţ corespunzătoare intrării în contact cu roata z_1, respectiv z_2		m/s	Vitezele instantanee $v_1 \dots v_4$ de perioadă egală cu $\varphi_1+\varphi_2$ (fig. *a*) sînt dependente de unghiurile $\alpha_1 \dots \alpha_4$ (tabelul 9.3)
v_2, v_4	Vitezele porţiunilor de lanţ corespunzătoare ieşirii din contact cu roata z_1, respectiv z_2		m/s	
v_Σ	Viteza instantanee a lanţului	$v_\Sigma = v_1+v_3-(v_2-v_4)$	m/s	
v	Viteza medie a lanţului	$v=z_1 \cdot p \cdot n_1/10^3$	m/min	Valori admise, în tabelul 9.4
f_m	Săgeata de montaj a lanţului	$A_c>500$ mm; $f_m=(A_c)^{1,774}/20(75)^{1,274}$ $A_c<500$ mm; $f_m=(A_c)^{1,045}/20(75)^{0,545}$	mm	
$\Delta A'$; $\Delta A''$	Scurtarea maximă, respectiv minimă, a distanţei calculate dintre axe	$\Delta A'=f_m^2/A_c$; $\Delta A''=\Delta A'/4$	mm	
M_{t1}	Momentul de torsiune la arborele roţii z_1	$M_{t1}=955\,000\ P/n_1$	daN·mm	
P	Puterea de transmis		kW	
F_{t1}	Forţa tangenţială la roata z_1	$F_{T1}=2M_{t1}/D_{d1}$	N	
F_c	Forţa datorită efectului centrifugal	$F_c=v^2G/9$	N	
m	Masa lanţului pe metru liniar		kg/m	STAS 4239-65
g	Acceleraţia căderii libere		m/s	9,81 m/s²

Scanned with OKEN Scanner

P	Puterea de transmis		kW	
F_{t1}	Forța tangențială la roata z_1	$F_{T1}=2M_{t1}/D_{d1}$	N	
F_c	Forța datorită efectului centrifugal	$F_c=v^2G/9$	N	
m	Masa lanțului pe metru liniar		kg/m	STAS 4239-65
g	Accelerația căderii libere		m/s	9,81 m/s²
F_a	Forța rezultantă în ramura conducătoare	$F_a=F_t+F_c$	N	
F_{ap}	Forța de apăsare în arbori și lagăre	$F_{ap}=(1,05\ldots1,15)F_t$	N	
γ_{st}	Coeficientul de siguranță static la rupere	$\gamma_{st}=S_r/F_a\geqslant7$		S_r — sarcina minimă la rupere în daN (STAS 5174-66)
γ_D	Coeficientul de siguranță dinamic la rupere	$\gamma_D=y/f_t\geqslant\gamma\lambda_D$		
y	Coeficientul de șoc			0,73
γ	Coeficientul de siguranță la rupere			În lucrarea [9, pag. 381]
λ_D	Factor de corecție			
F_R	Forța admisibilă la solicitarea rolelor	$F_R=F_r\cdot\lambda_r\cdot t_r$		F_r, λ_r, t_r din [9 pag. 375 și 382]

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 9.2 (continuare)



Roata de lanț — dantură nedeplasată ($D_d = D_c$)

Simbolul	Denumirea elementului	Relația de calcul	Unitatea de măsură	Valori recomandate
1	2	3	4	5
p	Pasul pe coardă (egal cu pasul lanțului		mm	8; 9,525; 12,7; 15,875; 19,05; 25,4; 31,75; 38,1; 44; 45; 50,80; 63,50; 76,20 etc.
z_1; z_2	Numerele de dinți ai roților de lanț	Pentru transportoare $z_1 = z_2 = z$		9 ... 150
α	Pasul unghiular	$\alpha = 360°/z$	grd	
D_{d1}, D_{d2}	Diametrele de divizare ale roților de lanț	$D_{d1} = p/\sin(180°/z_1)$; $D_{d2} = p/\sin(180°/z_2)$	mm	(v. STAS 5006-82)
d_1	Diametrul nominal al rolei lanțului		mm	5; 6,35; 7,95; 8,51; 10,16; 11,91; 12,07 15,88; 19,05; 22, 23; 25,4 etc.
D_i	Diametrul de fund al roții	$D_i = D_d - d_1$	mm	
D_e	Diametrul de vîrf al roții	$[D_d + p(1 - 1,6/z) - d_1] < D_e < (D_d + 1,25\,p - d_1)$	mm	
M	Dimensiunea peste role: z — număr par z — număr impar	$M = D_d + d_c$, nom $M = D_d \cos(90°/z) + d_{c\,nom}$	mm	$d_{c\,nom}$ — diametrul nominal al rolei calibru ($d_c = d_{10}^{+0,01}$)

Scanned with OKEN Scanner

d_1	Diametrul nominal al rolei lanțului		mm	5; 6,35; 7,95; 8,51; 10,16; 11,91; 12,07 15,88; 19,05; 22, 23; 25,4 etc.
D_i	Diametrul de fund al roții	$D_i = D_d - d_1$	mm	
D_e	Diametrul de vîrf al roții	$[D_d + p(1 - 1,6/z) - d_1] < D_e < (D_d + 1,25\ p - d_1)$	mm	
M	Dimensiunea peste role: z — număr par z — număr impar	$M = D_d + d_c$, nom $M = D_d \cos(90°/z) + d_{c\ nom}$	mm	$d_{c\ nom}$ — diametrul nominal al rolei calibru ($d_c = d_{10}^{+0,01}$)
R_1	Raza locașului rolei: profil minim profil maxim	$R_{1min} = 0,505\ d_1$ $R_{1max} = 0,505\ d_1 + 0,069\ d_1^{1/3}$	mm	Profilul minim este determinat de R_{1min}, δ_{max} și R_{2min} și corespunde celui mai mic gol între dinți
δ	Unghiul locașului rolei: profil minim profil maxim	$\delta_{max} = 140° - 90°/z$ $_{max} = 120° - 90°/z$	grd	
R_2	Raza flancului dintelui: profil minim profil maxim	$R_{2min} = 0,12\ d_1\ (z+2)$ $R_{2max} = 0,008\ d_1\ (z^2+180)$	mm	Profilul maxim este definit de R_{1max}, δ_{min} și R_{2max} și coresp. celui mai mare gol dintre dinți
B_1	Lățimea dintelui cu un rînd de zale cu două și cu trei rînduri de zale	$p \leqslant 12,7$ mm $\rightarrow B_1 = 0,93\ a_{min}$ $p > 12,7$ mm $\rightarrow B_1 = 0,95\ a_{min}$ $p \leqslant 12,7$ mm $\rightarrow B_1 = 0,91\ a_{min}$ $p > 12,7$ mm $\rightarrow B_1 = 0,93\ a_{min}$	mm	a_{min} — distanța minimă interioară dintre eclisele zalei interioare a lanțului (v. STAS 5174-76)
f	Teșirea dintelui	$f = (0,1 \ldots 0,15)p$	mm	
B_2, B_3, B_n	Lățimea danturii: pentru lanțuri duble pentru lanțuri triple pentru lanțuri multiple	$B_2 = B_1 + e$ $B_3 = B_1 + 2e$ $B_n = B_1 + (j-1)e$	mm	e — distanța dintre rînduri de zale (v. STAS 5174-76) j — număr de rînduri de zale
R_{min}	Raza de teșire minimă	$R_{3min} = p$	mm	

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 9.2 (continuare)

1	2	3	4	5
	Roata de lanț — dantură deplasată ($D_d \neq D_c$)			
D_d	Diametrul de divizare	$D_d = p_s z/\pi$; $D_d = kpz/\pi$	mm	
p_s	Pasul cuțitului pieptene	$p_s = kp$	mm	
k	Coeficientul de pas al cuțitului pieptene	Pentru $k = k_z \rightarrow p = p_s$ (pentru dantură necorij.)	$k \neq$ const.	1,011 (GOST 591-69) 1,025·1,015 (DIN 8197)
k_z	Coeficient	$k_z = (\alpha/2)/\sin(\alpha/2)$		Pentru $p = 25{,}4$ mm se iau valorile din tabelul 9.5
p_c	Pasul danturii roții de lanț măsurat pe cercul cu diametrul D_c	$p_c = \pi D_c/z = \pi \cdot p/\sin(180/z)$; $p_c = k_z p$	mm	
D_c	Diametrul cercului purtător al centrelor de racordare de rază R_1	$D_c = p/\sin(180°/z)$	mm	
Δ	Deplasarea	$\Delta = 0{,}5\,(D_d - D_c) = 0{,}5\,p\left[\frac{k}{\pi} z - \frac{1}{\sin(180°/z)}\right]$	mm	Pentru $p = 25{,}4$ mm, Δ ia valorile din tabelul 9.5
x	Coeficient	$x = \frac{\Delta}{p} = 0{,}5\left[\frac{k}{\pi} z - \frac{1}{\sin(180°/z)}\right]$		

Scanned with OKEN Scanner

prin injectare în cochilă. În cazul cînd se folosesc semibucşe sferice (fig. 9.17, *c*), acestea se realizează din pulberi de feroaliaj prin sinterizare. Bucşele din fig. 9.17, *b* şi *c*, care sînt executate din oţel sau feroaliaj sinterizat, se montează în alezajele ecliselor interioare prin deformare plastică la rece a muchiilor alezajelor, iar cele din masă plastică prin intermediul bordurilor elastice ale bucşelor.

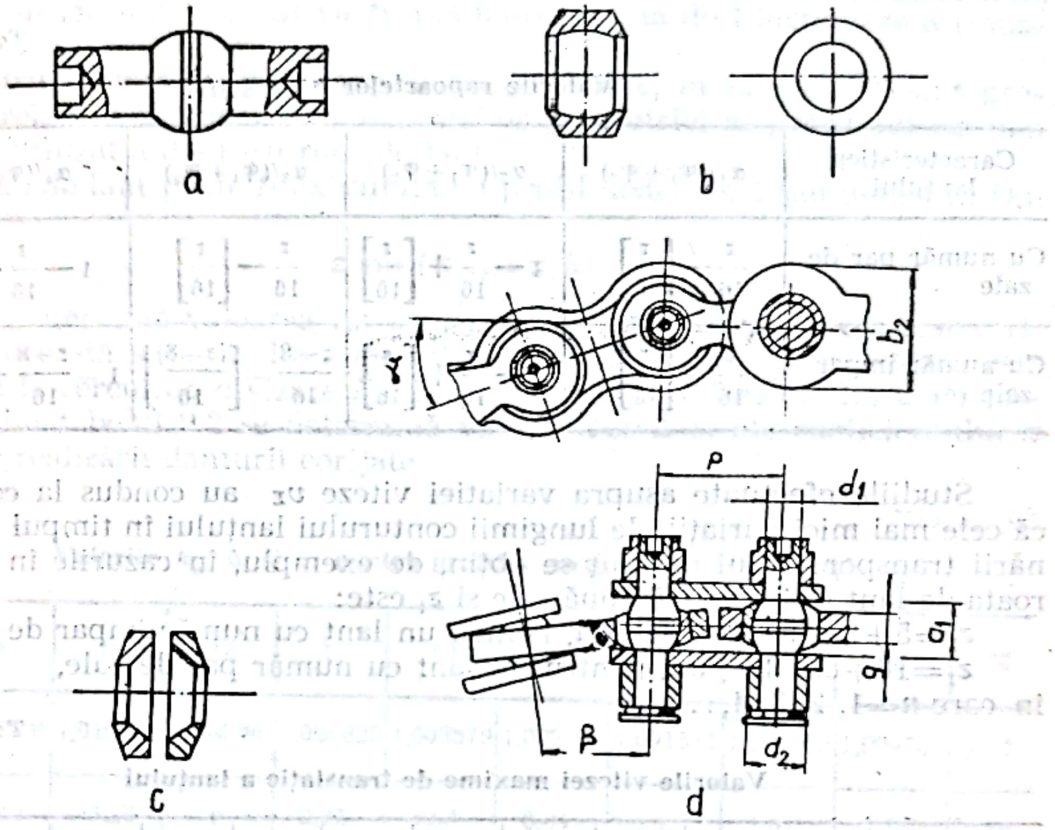


Fig. 9.17. Lanţ spaţial cu articulaţii sferice.

În fig. 9.17, *d* este prezentată o variantă a lanţului spaţial pentru transmisii de putere cu axe neparalele în spaţiu.

La proiectarea unui transportor cu lanţ trebuie avut în vedere că, în timpul funcţionării lui, are loc modificarea periodică a lungimii conturului lanţului, care este dependentă de unghiul de rotaţie α a roţii conducătoare şi care are drept consecinţă variaţia suplimentară a sarcinii în elementul de întindere. Această variaţie periodică a lungimii conturului lanţului se datorează înfăşurării poligonale a zalelor pe roţile de lanţ.

În tabelul 9.2 sînt date toate elementele geometrice necesare pentru calculul vitezei instantanee v_Σ a lanţului. Viteza v_Σ se exprimă în funcţie de vitezele instantanee $v_1, \ldots, v_4$, a căror variaţie este determinată de valorile unghiurilor $\alpha_1, \ldots, \alpha_4$, care sînt calculate din momentul intrării şi respectiv ieşirii de pe roata de lanţ a zalei de pas p_1. Valorile iniţiale ale argumentului α sînt determinate din condiţia că în poziţia de pornire lanţul să fie dispus simetric în raport cu linia centrelor roţilor de lanţ. În tabelul 9.3 sînt date valorile rapoartelor dintre valorile iniţiale ale unghiurilor $\alpha_1, \ldots, \alpha_4$ şi perioada $\varphi_1 + \varphi_4$. Simbolul [ ] utilizat în tabe-

lul 9.3 semnifică faptul că în calcul se ia numai partea întreagă a numărului din paranteze.

Din tabelul 9.3 se poate constata că pentru un lanț închis cu o za de asamblare, raportul $(\alpha_1-\alpha_3)/(\varphi_1+\varphi_2)$ nu depinde de numărul de dinți z ai roții de lanț, iar valorile $(\alpha_1-\alpha_2)/(\varphi_1+\varphi_2)$ și $(\alpha_3-\alpha_2)/(\varphi_1+\varphi_2)$ se repetă la modificarea numărului de dinți z cu 8 și sînt egale în cazul în care lipsește zaua de asamblare.

Tabelul 9.3

Valorile rapoartelor $\alpha_i/(\varphi_1+\varphi_2)$

Caracteristica lanțului	$\alpha_1/(\varphi_1+\varphi_2)$	$\alpha_2/(\varphi_1+\varphi_2)$	$\alpha_3/(\varphi_1+\varphi_2)$	$\alpha_4/(\varphi_1+\varphi_2)$
Cu număr par de zale	$\frac{z}{16}-\left[\frac{z}{16}\right]$	$1-\frac{z}{16}+\left[\frac{z}{16}\right]$	$\frac{z}{16}-\left[\frac{z}{16}\right]$	$1-\frac{z}{16}+\left[\frac{z}{16}\right]$
Cu număr impar zale	$\frac{z}{16}-\left[\frac{z}{16}\right]$	$1-\frac{z}{16}+\left[\frac{z}{16}\right]$	$\frac{z-8}{16}-\left[\frac{(z-8)}{16}\right]$	$1-\frac{z-8}{16}+\left[\frac{(z-8)}{16}\right]$

Studiile efectuate asupra variației viteze v_Σ au condus la concluzia că cele mai mici variații ale lungimii conturului lanțului în timpul funcționării transportorului cu lanț se obțin, de exemplu, în cazurile în care pe roata de lanț se înfășoară două zale și z_1 este:

$z_1=5+8n$; $9+8n$; $11+8n$, pentru un lanț cu număr impar de zale,

$z_1=10+8n$; $12+8n$, pentru un lanț cu număr par de zale,

în care $n=1, 2, 3, 4, \ldots$

Tabelul 9.4

Valorile vitezei maxime de translație a lanțului

Pasul lanțului p [mm]	9,525	12,70	15,875	19,05	25,4	31,75	38,10	44,45	50,8	63,5	76,20
Număr minim de dinți $z_{1\,min}$	11		13		15		17	19		21	
Viteza maximă v_{max} [m/s]	22			20		18	17	16	15	12	10

Dimensiunile, forma constructivă și profilul danturii roților de lanț depind de tipul și mărimea lanțului cu care angrenează, de parametrii funcționali și de particularitățile constructive ale transmisiei.

Profilul cel mai adecvat al danturii roților de lanț este acela care asigură uzura minimă a dinților și a rolelor lanțului și prin urmare cea mai mare durabilitate a transmisiei prin lanț.

Scanned with OKEN Scanner

Uzura dinților roților și a rolelor lanțului se mărește datorită creșterii apăsării specifice dintre role și roți și a forței de impact care apare la angrenare. De aceea, criteriile de bază pentru compararea profilului danturii roților de lanț sînt apăsarea specifică și forța de impact. Ultima determină și nivelul de zgomot al transmisiei prin lanț. De asemenea, este foarte important ca profilul danturii să permită, fără a afecta corectitudinea angrenării, pe cît posibil, mărirea pasului lanțului. Cu cît este mai mare pasul lanțului, cu atît va fi mai mare durata de funcționare a transmisiei prin lanț.

Pentru transmisia prin lanț cu bucșe și role, în tabelul 9.2 sînt prezentate relațiile de calcul al parametrilor geometrici ai profilului cel mai frecvent utilizat a danturii roții de lanț.

Roata de lanț poate fi executată cu profil nedeplasat sau deplasat. Din ecuația

$$z \sin(\pi/z) = \pi/k$$

se poate determina valoarea lui z pentru care dantura se execută necorijată. În această situație, linia de referință a cremalierei generatoare este tangentă la cercul de divizare D_d. Pentru celelalte valori ale lui z, cu formulele din tabelul 9.2 se determină valorile lui Δ și ale coeficientului x necesare realizării danturii corijate.

Tabelul 9.5

Valorile k_z, Δ și x pentru profilul corijat al roții de lanț*

z_p	5	10	12	15	20	25	30	40	50	60
k_z	1,068408	1,016115	1,010996	1,006829	1,003579	1,002154	1,001531	1,000509	1,000159	1,00
Δ	—1,15	—0,23	0	0,22	0,56	0,84	1,11	1,61	2,09	2,56
x	—0,045	—0,009	0	0,009	0,022	0,033	0,044	0,063	0,08	0,10

Valorile corespund pasului p=25,4 mm.

Concluzii

Transmisiile prin lanț se folosesc cu rezultate bune în antrenarea mecanismelor de transport ca transmisii de putere. Transmisiile prin lanț îmbină avantajele transmisiilor prin element flexibil cu cele ale transmisiilor prin angrenaje. Lanțul, element metalic articulat, elimină tensiunile de încovoiere la înfășurarea pe roți, preia și transmite efortul între roata conducătoare și condusă pe baza presiunii de contact fără să fie necesară o forță de întindere la montaj.

Față de transmisiile prin curele, la același gabarit, transmisiile prin lanț au o portanță mai mare pentru un domeniu mare de puteri. La viteze mici și mijlocii transmisiile prin lanț permit construcții compacte. Față de

Scanned with OKEN Scanner

angrenaje, în cazul transmiterii la distanțe relativ mari, transmisiile prin lanț prezintă avantajul eliminării roților dințate intermediare.

Lanțul stabilește o legătură relativ elastică între roata conducătoare și condusă, iar, cînd este necesar, permite modificarea cu ușurință a distanței între axe.

Dezavantajul principal al transmisiilor prin lanț rezultă din efectul poligonal, datorită înfășurării poligonale a zalelor pe periferia roților de lanț. Acest efect, împreună cu șocul datorat impactului dinte-rolă care apare la angrenarea zalelor, generează forțe dinamice suplimentare, variabile periodic, vibrații și zgomot funcțional. Din aceste cauze, transmisiile prin lanț nu permit dezvoltarea unor viteze periferice relativ mari, $v_{max} \leqslant 17(30)$ m/s.

Cercetările efectuate în ultimii ani [5, 6, 7, 8, 11] au condus la adoptarea unor soluții care să limiteze sau să elimine aceste dezavantaje funcționale.

Avînd în vedere avantajele mecanismelor de transport cu lanț, acestea sînt folosite în prezent, tot mai frecvent, în sistemele de alimentare automată a mașinilor-unelte.

BIBLIOGRAFIE

1. CELIDZE, G. *Ghibkaia avtomatizirovanaia linia dlia abrabotki țilindriceskih detalei.* În: Stanki i instrument, 1986, nr. 5.
2. CRIȘAN, I. și DOBRE, N. *Automatizarea montajului în construcția de mașini.* București, Editura Tehnică, 1979.
3. DORIN, AL., GHIONEA, AD. și PREDINCEA, N. *Alimentarea automată cu semifabricate și scule a strungurilor.* București, Editura Tehnică, 1985.
4. HOROVITZ, B. ș.a. *Transmisii și variatoare prin curele și lanțuri.* București, Editura Tehnică, 1971.
5. KOVACS, FR. și TOTH ȘT. *Asupra geometriei și cinematicii transmisiilor prin lanț și sinteza danturii roților de lanț.* În: Al III-lea Simpozion internațional de Teoria și practica mecanismelor, București, 2—7 iulie 1981.
6. KOVÁCS, FR. și TOTH, ȘT. *Cu privire la sinteza transmisiilor prin lanț din condiția eliminării efectelor înfășurării poligonale.* În: Al III-lea Simpozion internațional de Teoria și practica mecanismelor, București, 2—7 iulie 1981.
7. KOZLOVSKII, A. și TEREȘCENKO, V. *O vliianii soedinitelnovo zvena na periodiceskoe izmenenie dlinî kontura tiagovoi țepi s atkrîtrîm șarnirom.* În: Izvestiia vuzov, Mașinostroenie, 1985, nr. 8.
8. KUNAD, G. și SCHRÖDER, J. *Hochübersetzendes kombiniertes kettenkurven-Getrieben.* În: Maschinenbautechnik, 1986, nr. 2.
9. RĂDULESCU, GH., MILOIU, GH. ș.a. *Îndrumar de proiectare în construcția de mașini.* Vol. III. București, Editura Tehnică, 1986.
10. SCHÜTZ, W. *Flexible Fertigungszellen, Inseln und Systeme in Modularbauweise.* În: Tz. für Metallbearbeitung, 1984, nr. 11.
11. TOMAȘINS, I. *Novîi metod gheometriceskovo rasceta rolikovîh țepnîh peredaci.* În: Vestnik mașinostroeniia, 1985, nr. 7.
12. UCEAEV, P. ș.a. *Gheometriceskie parametrî zvedocek țepnîh peredaci i muft.* În: Vestnik mașinostroeniia, 1985, nr. 12.
13. * * * *Norme de tipizare.* ICSITMUA Titan București, 1983.

Scanned with OKEN Scanner

10

Importanța particularităților geometrice ale recipientelor cilindrice cu perete gros la adoptarea unor criterii de dimensionare mai economice

Ing. *Alexandru Ioan Muscan*

Notații

r_e — raza exterioară a învelișului cilindric, mm;
r_i — raza interioară a învelișului cilindric, mm;
$K=r_e/r_i$
p — presiunea interioară, bar;
R_c — limita de curgere la întindere a materialului, N/mm²;
τ_c — limita de curgere la forfecare a materialului, N/mm²;
τ_{max} — tensiunea maximă de forfecare, N/mm²;
σ_i — tensiunea circumferențială, N/mm²;
σ_r — tensiunea radială, N/mm²;
p_F^* — presiunea de plesnire, conform relației Faupel, N/mm²;
p_s^* — presiunea de plesnire, conform relației Svenson, N/mm²;
p_M^* — presiunea de plesnire, conform relației Muscan, N/mm²;
M_p — modulul de plasticitate, N/mm²;
n — coeficientul de ecruisare;
e — 2,71828;
R — rezistența la rupere, N/mm²
A_5 — lungirea la rupere;
ϵ_c — lungirea remanentă la atingerea limitei de curgere (dacă nu se cunoaște, se ia 0,002);
K' — $1+(K-1)(1-\mu n)$;
μ — coeficientul de contracție transversală (pentru domeniul plastic se ia 0,5);
p_a^{III}, p_a^{IV} — presiunea admisibilă, N/mm²;

Scanned with OKEN Scanner

C_F^{III}, C_F^{IV}, C_S^{III}, C_S^{IV}, C_M^{III}, C_M^{IV} — coeficienți de siguranță raportați la presiunea de plesnire;

f_m — tensiunea medie pe grosimea învelișului, la funcționare în domeniul de fluaj, N/mm²;

p_{eq} — presiunea echivalentă, N/mm²;

$R^t_{l/100000}$ — limita tehnică de fluaj la temperatura de funcționare, N/mm²;

$R^t_{r/100000}$ — rezistența tehnică de durată la temperatura de funcționare, N/mm².

1. Prezentarea fenomenului de plesnire a învelișului și determinarea presiunii de plesnire

Pentru dimensionarea rațională a unui recipient cilindric este de importanță deosebită cunoașterea condițiilor în care se poate produce plesnirea ca urmare a solicitării la presiune interioară.

Determinarea presiunii de plesnire a unui înveliș cilindric pe baza modelului de solicitare în domeniul elastic nu a putut fi pusă în concordanță cu rezultatele experimentale datorită, pe de o parte, particularităților geometriei învelișului, iar pe de alta, datorită faptului că oțelurile folosite la construcția rezervorului cedează numai după o deformație plastică prealabilă, mai mică sau mai mare, specifică oțelului folosit.

Avînd în vedere frecvența utilizării în industrie a recipientelor sub presiune și diversitatea condițiilor de utilizare, spre exemplu în industria chimică: presiuni de la 0 la 4 000 bar; temperaturi de la minus 190°C la plus 650°C; prelucrarea de substanțe inflamabile, explozive, toxice, letale, corosive etc., rezolvarea acestor probleme a făcut obiectul unor preocupări deosebite în țările industrializate.

În cazul în care un recipient cilindric este supus la presiune interioară, tensiunile rezultate în înveliș sînt maxime la fața interioară, așa cum rezultă din relațiile stabilite de Lammé. Contrar la ce se poate aștepta, plesnirea învelișului cilindric dintr-un metal ductil nu începe la fața interioară, ci la fața exterioară.

Majoritatea metalelor solicitate peste limita de curgere trec printr-o stare de deformare plastică, cu creșterea lungirii o dată cu creșterea presiunii, dar cu menținerea constantă a limitei de curgere pentru cazul corpului plastic ideal. Deformarea zonei interioare este limitată de zona exterioară. Fibrele interioare sînt oprite de a se rupe, dacă fibrele exterioare opun o rezistență suficientă.

Presiunea interioară necesară pentru atingerea limitei de curgere la fața interioară a învelișului se denumește *presiunea de depășire a limitei elastice (elastic-breakdown)*. La această presiune, tensiunea maximă este tensiunea circumferențială la fața interioară. Tensiunea radială are de asemenea valoarea maximă la fața interioară și este egală cu presiunea interioară.

Dacă presiunea interioară crește în continuare, deformarea plastică se extinde radial spre exterior și conduce la micșorarea tensiunii circum-

Scanned with OKEN Scanner

ferențiale în straturile interioare și creșterea rapidă în straturile exterioare. Creșterea presiunii interioare poate fi condusă pînă cînd deformarea plastică se extinde pe întreaga grosime a învelișului cilindric. În această situație, tensiunea circumferențială maximă apare la fața exterioară a învelișului cilindric.

În [1] se menționează că la atingerea limitei de curgere a unui recipient cilindric cu un raport $r_e/r_i=2$, la presiunea de 893 bar, tensiunea circumferențială la fața interioară era de 147 N/mm² iar la fața exterioară de 56 N/mm². Deformarea plastică pe întreaga grosime a învelișului cilindric s-a realizat la o presiune de 1 930 bar și a condus la o tensiune circumferențială la fața interioară de 112 N/mm², iar la fața exterioară de 238 N/mm²:

Rezultă clar că repartiția tensiunii circumferențiale este total diferită în starea de solicitare la deformare plastică pe întreaga grosime a învelișului, față de starea de solicitare în domeniul elastic. În schimb repartiția tensiunii radiale este oarecum similară pentru cele două stări de solicitare.

Creșterea în continuare a presiunii conduce la plesnirea învelișului ca urmare a creșterii progresive a tensiunii circumferențiale la fața exterioară a învelișului. Ruptura învelișului are de obicei forma unei spirale pornind de la fața exterioară a învelișului (văzută în secțiune transversală pe axa longitudinală a recipientului).

Pentru determinarea presiunii la care învelișul cilindric a fost deformat plastic pe întreaga grosime prin depășirea limitei de curgere trebuie precizată condiția prin care se inițiază deformarea plastică.

Un criteriu larg utilizat este cel propus de von *Mises* și se exprimă prin relația dintre limita de curgere la întindere și limita de curgere la forfecare,

$$R_c=\tau_c\sqrt{3},$$

care este caracteristică pentru teoria de rupere a energiei de variație a formei.

Tensiunea maximă de forfecare într-un sistem solicitat pe trei direcții perpendiculare se exprimă prin relația

$$(\sigma_t-\sigma_r)/2=\tau_{max}.$$

Din egalarea celor două relații rezultă

$$\sigma_t-\sigma_r/2=R_c/\sqrt{3}.$$

Ținînd seama de relațiile de echilibru ale unui element de înveliș cilindric și de faptul că σ_r este negativ (compresiune), se poate scrie

$$\sigma_t=\sigma_r+r\frac{\delta\sigma_r}{\delta r}.$$

Substituind pe σ_t din relația precedentă, rezultă

$$\delta\sigma_r=\frac{2R_c}{\sqrt{3}}\cdot\frac{\delta r}{r}.$$

Scanned with OKEN Scanner

Integrarea pentru r de la r_i la r_e conduce la

$$\sigma_r = -p = \frac{2R_c}{\sqrt{3}} \ln \frac{r_e}{r_i}.$$

Relația prezentată este valabilă pentru un corp plastic ideal la care limita de curgere rămîne constantă și este egală cu rezistența la rupere, așa încît tensiunea de rupere a învelișului cilindric ar trebui să poată fi determinată și de relația

$$\sigma_r = -p = \frac{2R}{\sqrt{3}} \ln \frac{r_e}{r_i}.$$

Deoarece la corpurile plastice reale, pe măsura creșterii deformației, limita de curgere crește datorită ecruisării (consolidării) materialului pînă la o valoare maximă corespunzătoare unei deformări (lungiri) uniforme, pînă la apariția gîtuirii, în relațiile precedente nu pot fi introduse nici limita de curgere inițială și nici rezistența la rupere, ci o valoare intermediară.

Pentru rezolvare *Faupel* propune relația

$$p_F^* = \frac{R_c}{R}\left(\frac{R}{\sqrt{3}} \ln \frac{r_e}{r_i}\right) + \left(1 - \frac{R_c}{R}\right)\left(\frac{R_c}{\sqrt{3}} \ln \frac{r_e}{r_i}\right),$$

care conduce la $p_F^* = \left(2 - \frac{R_c}{R}\right) \cdot \frac{R_c}{\sqrt{3}} \ln \frac{r_e}{r_i}$.

La experimentările făcute de *Faupel* pe circa 100 recipiente cilindrice, din diferite oțeluri cu rezistența ridicată, cu valori ale raportului r_e/r_i de la 1,75 la 4,7, la temperaturi între 20°C și 349°C, valorile obținute s-au încadrat cu abatere $\pm 15\%$ în valorile calculate cu relația prezentată [1].

În cazul în care criteriul prin care se stabilește inițierea deformației plastice se consideră

$$R_c = 2\,\tau_c,$$

relația lui *Faupel* ar deveni

$$p_F^* = \left(2 - \frac{R_c}{R}\right) \frac{R_c}{2} \ln \frac{r_e}{r_i}.$$

Rezultă deci că este important a se cunoaște comportarea materialului utilizat și a raportului R_c/τ_c.

Avînd în vedere că pe măsura deformării plastice materialul se ecruisează (consolidează) și limita de curgere crește, apropiindu-se de rezistența la rupere, *Svenson* propune o relație îmbunătățită, care ia în considerare fenomenul de ecruisare

$$p_S^* \frac{0.25}{n+0{,}227} \left(\frac{e}{n}\right)^n R \ln \frac{r_e}{r_i}.$$

Autorul prezentului articol propune o relație care, pe lîngă fenomenul de ecruisare, ia în considerare și modificarea geometriei învelișului (creșterea diametrului și subțierea învelișului) datorite deformării plastice [3]

$$p_M^* = \sigma_u' \cdot \ln K',$$

Scanned with OKEN Scanner

în care:

$$\sigma'_u = M_p \ (n)^n$$

$$n = \frac{\log [R\,(1+A_5)] - \log [R_c\,(1-\varepsilon_c)]}{\log [\ln (1+A_5)] - \log [\ln (1-\varepsilon_c)]};$$

$$\log M_p = \log [R(1+A_5)] - n \cdot \log [\ln(1+A_5)];$$

$$\log M_p = \log [R_c(1+\varepsilon_c)] - n \cdot \log [\ln(1+\varepsilon_c)];$$

$$K' = 1+(K-1)(1-\mu n); \quad K = r_e/r_i.$$

2. Stabilirea coeficientului de siguranță raportat la presiunea de plesnire

Condiția care se impune este ca atît la presiunea de încercare hidraulică, cît și la funcționarea în exploatare, tensiunea echivalentă, ținînd seama de toate solicitările, să nu depășească limita de curgere, respectiv recipientul trebuie să lucreze în domeniul elastic (pentru funcționare în condiții de fluaj a se vedea § 4).

Avînd în vedere că distribuția tensiunilor circumferențiale și radiale nu este uniformă pe întreaga grosime a învelișului și la solicitarea în domeniul elastic maximele sînt la fața inferioară, acestea scăzînd rapid către fața exterioară, pentru o dimensionare economică, tensiunile respective se consideră că au caracter local și, în consecință, tensiunea echivalentă nu trebuie să se depășească limita de curgere. Deci nu se impune o valoare admisibilă de $R_c/1{,}5$, care ar conduce la dimensiuni neeconomice sau imposibil de realizat.

În această situație, presiunea admisibilă se determină cu relațiile:

— pentru criteriul tensiunilor de forfecare maxime (teoria a III-a, de rupere),

$$p_a^{III} = R_c(K^2-1)/2K^2;$$

— pentru criteriul energiei de variație a formei (teoria a IV-a de rupere),

$$p_a^{IV} = R_c(K^2-1)/(\sqrt{3}K^2)$$

Coeficienții de siguranță se stabilesc ca raport între presiunea de plesnire și presiunea admisibilă.

Cazul aplicării relației Faupel. *Pentru materiale la care se aplică criteriul tensiunilor de forfecare maxime,*

$$p_F = 2/\sqrt{3})R_c(2-R_c/R)\ln K;$$

$$p_a^{III} = R_c(K^2-1)/(2K^2);$$

$$C_F^{III} = \frac{2}{\sqrt{3}}\left(2-\frac{R_c}{R}\right)\frac{2K^2}{K^2-1}\cdot \ln K.$$

Scanned with OKEN Scanner

Pentru materiale la care se aplică criteriul energiei de variație a formei,

$$p_F^{\bullet}=\left(\frac{2}{\sqrt{3}}\right) R_c\left(2-\frac{R_c}{R}\right)\cdot\ln K. \qquad p_a^{IV}=R_c\,\frac{(K^2-1)}{(\sqrt{3}\,K^2)};$$

$$C_F^{IV}=\left(2-\frac{R_c}{R}\right)\frac{2K^2}{K^2-1}\cdot\ln K.$$

Cazul aplicării relației Svenson. *Pentru materiale la care se aplică criteriul tensiunilor de forfecare maxime,*

$$p_S^{\bullet}=\left(\frac{0{,}25}{n+0{,}227}\right)\left(\frac{e}{n}\right)^n R\ln K; \qquad p_a^{III}=R_c\,\frac{K^2-1}{2K^2}.$$

$$C_S^{III}=\left(\frac{0{,}25}{n+0{,}227}\right)\left(\frac{e}{n}\right)^n\frac{R}{R_c}\cdot\frac{2K^2}{K^2-1}\cdot\ln K;$$

Pentru materiale la care se aplică criteriul energiei de variație a formei,

$$p_S^{\bullet}=\left(\frac{0{,}25}{n+0{,}227}\right)\left(\frac{e}{n}\right)^n R\cdot\ln K; \qquad p_a^{IV}=R_c\,\frac{K^2-1}{\sqrt{3}\,K^2};$$

$$C_S^{IV}=\left(\frac{0{,}25}{n+0{,}227}\right)\left(\frac{e}{n}\right)^n\frac{R}{R_c}\,\frac{\sqrt{3}\,K^2}{K^2-1}\cdot\ln K;$$

Cazul aplicării relației Muscan. *Pentru materiale la care se aplică criteriul tensiunilor de forfecare maxime,*

$$p_M^{\bullet}\,\sigma_u'\cdot\ln K'; \qquad p_a^{III}=R_c(K^2-1)/(2K^2);$$

$$C_M^{III}=\frac{\sigma_u'}{R_c}\cdot\frac{2K^2}{K^2-1}\cdot\ln K'.$$

Pentru materiale la care se aplică criteriul energiei de variație a formei,

$$p_M^{\bullet}=\sigma_u'\cdot\ln K'; \qquad p_a^{IV}=R_c\,\frac{K^2-1}{\sqrt{3}\,K^2};$$

$$C_M^{IV}=\frac{\sigma_u'}{R_c}\cdot\frac{\sqrt{3}\,K^2}{K^2-1}\cdot\ln K'.$$

Se recomandă să se calculeze coeficienții de siguranță pentru relația cu cea mai redusă presiune de plesnire și să se verifice atît pentru încercarea hidraulică, cît și pentru condițiile de exploatare, inclusiv punerea și scoaterea din funcțiune.

În cazul în care apar tensiuni generate de gradienți termici, acestea se vor însuma algebric la tensiunile generate de presiune, calculîndu-se presiunea echivalentă, care va fi luată în considerare pentru comparație cu presiunea de plesnire, în vederea determinării coeficientului de siguranță.

La recipientele prezentate în [4] partea a II-a și partea a III-a se fac următoarele precizări:

— la reactorul de presiune înaltă pentru polietilenă care lucrează la 2 000 bar și 280°C, limitarea tensiunilor maxime la cea mai mică valoare

Scanned with OKEN Scanner

dintre $R_c/1,5$ și $R/2,4$ ar fi condus, folosind același material și aplicînd același criteriu de energie de variație a formei, la o grosime de 603 mm, în loc de 101,6 mm, cît au reactoarele în funcție de 18 ani;

— la autoclava pentru creșterea hidrotermală a cristalelor sintetice de cuarț care lucrează la 2 030 bar și 430°C, limitarea tensiunilor maxime la cea mai mică valoare dintre $R_c/1,5$ și $R/2,4$, ar fi condus, folosind același material și aplicînd același criteriu al tensiunilor de forfecare maxime, la grosime de 514 mm în loc de 118 mm, cît are autoclava oferită de o firmă din S.U.A.

Aplicarea metodei prezentate a condus însă la grosimi de perete corespunzătoare atît cu cele ale aparatelor existente în cazul reactorilor de polietilenă de presiune înaltă, cît și al autoclavelor pentru creșterea hidrotermală a cristalelor sintetice de cuarț.

Se menționează că relația lui *Faupel* are un grad de dispersie $\pm 15\%$, ceea ce reprezintă un dezavantaj, în timp ce relațiile Svenson și Muscan conduc la valori concrete care se încadrează în zona de dispersie a relației *Faupel*.

Coeficienții de siguranță aleși nu trebuie să fie mai mici decît valorile ce se indică în continuare.

— pentru valori ale lui $K \geqslant 1,1$, $C \geqslant 2$;

— pentru valori ale lui $K < 1,1$, $C > 3$.

3. Solicitări în domeniul de fluaj

Datorită faptului că tensiunile nu sînt uniforme pe întreaga grosime a învelișului cilindric, în cazul solicitării în domeniul de fluaj, tensiunile se redistribuie ca urmare a deformațiilor remanente, fenomen analog cu cel de autofretare. În această situație, pentru comparație cu valorile admise de solicitare la fluaj, se folosește tensiunea medie cu următoarea relație [1]:

$$\bar{f}_m = p_{eq} 2\sqrt{3} \left(\frac{r_e r_i}{r_e^2 - r_i^2}\right)^2 \ln \frac{r_e}{r_i} \quad \text{sau} \quad \bar{f}_m = p_{eq} 2\sqrt{3} \left(\frac{K}{K^2-1}\right)^2 \ln K.$$

Pentru satisfacerea duratei de serviciu prescrise este necesară îndeplinirea uneia dintre următoarele două condiții:

$$\bar{f}_m \leqslant R^t_{1/100000}\,; \quad \bar{f}_m \leqslant 0,8 R^t_{r/100000}$$

4. Concluzii

Aspectele prezentate se referă numai la recipiente cilindrice sub presiune care nu prezintă defecte neadmise și la care oțelurile folosite se comportă plastic.

Realizările recente ale mecanicii ruperii au stabilit însă că:

— în orice ansamblu (recipient) nu există componentă fără defect;

Scanned with OKEN Scanner

— în funcție de tipul oțelului, temperatură și modul de solicitare, ruperea poate fi: liniar-elastică (fragilă); elastoplastică; cu curgere generalizată (plastică);

— caracteristicile mecanice semnificative ale materialelor pentru ruperea liniar-elastică și elastoplastică sînt altele decît cele standard.

Pentru aplicarea acestor realizări ale mecanicii ruperii la proiectarea recipientelor cilindrice sub presiune, autorul face propuneri corespunzătoare în [5].

BIBLIOGRAFIE

1. BROWNELL, L. E. și YOUNG, E. *H Process equipment design.* New York, John Willey & sons Inc. Chapman & Hall Ltd, London, 1959.
2. ROYER C. P. și ROLFE S. T. *Effect of Strain — Hardening — Exponent and Strain Concentrations on the Bursting Behaviour of Pressure Vessels.* Transactions of the ASME October 1974, p. 292—298.
3. MUSCAN, A. I. *Eforturi unitare și deformații în domeniul plastic al metalelor cu aplicare la învelișuri sferice și cilindrice.* În: Buletin de Informare ISCIR, nr. 4, 1983, pag. 9—32.
4. MUSCAN, A. I. *Aspecte deosebite ale analizei stării de tensiune a corpurilor tubulare cilindrice cu perete gros, solicitate la presiuni înalte cu aplicare la: reactor de presiune înaltă pentru polietilenă; autoclavă pentru creșterea hidrotermală a cristalelor sintetice de cuarț.* În: Buletin de informare ISCIR, partea I, nr. 3, 1984, pag. 7—18; partea II, nr. 6, 1984, pag. 7—19; partea III, nr. 1—2, 1985, pag. 9—22.
5. MUSCAN, A. I. *Evaluarea stării critice, conform mecanicii ruperii, la proiectarea recipientelor cilindrice sub presiune, construite din oțeluri feritice.* În: Buletin de Informare ISCIR, nr. 4, 1985, pag. 7—34.

Scanned with OKEN Scanner

TM
CM

IV

MATERIALE, ELABORARE, UTILIZARE, RECICLARE, ÎNLOCUITORI

Scanned with OKEN Scanner

11
Adezivi anaerobi

Dr. ing. *Gheorghe Hubca*
Institutul Politehnic Bucureşti
Dr. ing *Cristian Oprescu*
Întreprinderea Chimică Dudeşti
Prof. dr. ing. *Mihai Dimonie*
Institutul Politehnic Bucureşti

Adezivii sintetici şi în special cei pentru metale şi-au găsit în ultimul timp largi utilizări în industriile constructoare de maşini, aeronautică, electrotehnică, electronică, materialelor de construcţii etc. Acest lucru este determinat de avantajele pe care le prezintă în aceste domenii utilizarea adezivilor sintetici: asigură îmbinări cu rezistenţe mecanice ridicate, ce nu permit pătrunderea coroziunii, cu etanşeitate ridicată, se realizează prin tehnică de lucru simplă, permite eliminarea sudurii etc., avantaje ce conduc în final la reducerea preţului de cost, la micşorarea greutăţii şi simplificarea tehnologiei de obţinere a maşinilor şi agregatelor.

În cadrul adezivilor pentru metale un loc important revine adezivilor anaerobi. Descoperiţi ca urmare a studiilor efectuate asupra stabilităţii la stocare a esterilor acizilor nesaturaţi [1, 2], adezivii anaerobi s-au impus rapid datorită proprietăţilor adezive deosebite.

Primii adezivi anaerobi obţinuţi de Burnett şi Nordlander [3] prin saturarea cu oxigen a oligoesteracrilaţilor au fost înlocuiţi ulterior, datorită cercetărilor întreprinse de V. K. Krieble [4], de compoziţiile adezive anaerobe, cunoscute în general sub denumirea de „LOCTITE".

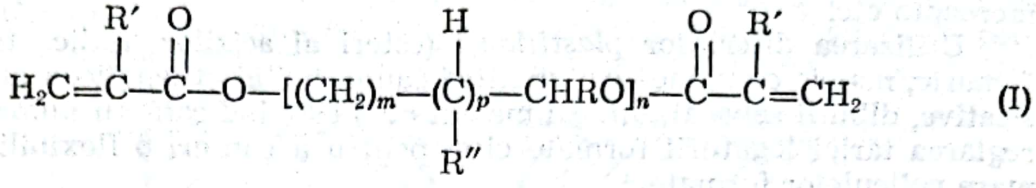
Răşinile adezive anaerobe au devenit în prezent produşi de mare utilitate pentru obţinerea unor siguranţe sporite în domeniul asamblării şi montării utilajelor şi racordurilor. Ele pot fi folosite la lipirea suprafeţelor metalice, de sticlă, ceramică şi a majorităţii materialelor plastice, fiind extrem de rezistente la coroziune chimică, la variaţii mari de temperatură (—200° ... +150°C) şi la acţiunea solvenţilor. Aceşti adezivi prezintă un mijloc sigur de etanşare, fixînd racordurile şi mărindu-se considerabil rezistenţa la şocuri şi vibraţii, aderă perfect la toate neregularităţile suprafeţei, împiedicînd orice mişcare relativă a acestora.

1. Compoziţia răşinilor adezive anaerobe

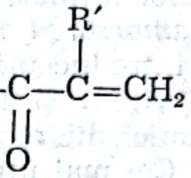
Răşinile adezive anaerobe sînt amestecuri complexe ce conţin unul sau mai mulţi monomeri acrilici sau metacrilici, agenţi de îngroşare, iniţiatori, acceleratori, inhibitori etc.

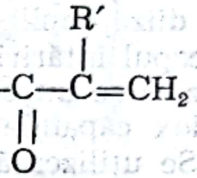
Scanned with OKEN Scanner

Monomerii constituie componenta de bază a rășinilor adezive anaerobe. Din punct de vedere chimic aceștia sînt diesteri ai acidului acrilic sau metacrilic, corespunzători formulei I:



(I)

în care: R=H, $-CH_3$, $-C_2H_5$, $-CH_2OH-$, 

R′=H, Cl, $-CH_3$, $-C_2H_5$; R″=H, OH, 

m=1 ... 8 sau mai mare; n=2 ... 20; p=0 sau 1.

Numărul mare de compuși ce pot fi utilizați la sinteza acestora a condus la existența unei game foarte largi de monomeri, cei mai utilizați fiind: dietilenglicol dimetacrilatul, trietilenglicol dimetacrilatul, tetraetilenglicol dimetacrilatul, dicloracrilatul-trietilenglicolului, dimetacrilatul diglicerinei, diesterii acrilici sau metacrilici ai bis- (di-, tri-, tetra-, penta-, și polietilenglicol) — fumaraților, maleaților sau malonaților etc.

Monomerii menționați se obțin prin esterificarea acidului acrilic (metacrilic) cu polietilenglicoli, prin transesterificarea metilmetacrilatului cu polietilenglicoli, sau prin reacții de condensare-telomerizare [5—8].

Natura monomerului, respectiv lungimea lanțului polieteric dintre cele două grupări metacrilice își pune amprenta asupra tăriei legăturii formate și viscozității monomerului. Odată cu creșterea greutății moleculare a poliolului utilizat în reacția de sinteză a monomerului se obțin adezivi cu viscozitate mai mare, dar care conduc la rezistențe finale scăzute ale îmbinărilor.

Prin polimerizare monomerii menționați formează polimeri tridimensionali, total insolubili și nefuzibili, cu adezivitate ridicată la suprafețele între care a avut loc procesul.

Tăria legăturii formate poate fi modificată în limite dorite prin utilizarea amestecurilor de monomeri cu proprietăți anaerobe, prin introducerea de monomeri monofuncționali (stiren, butadienă, acrilat de metil, metacrilat de metil, acrilat de etil, acrilat de butil, acid acrilic, acid metacrilic etc.), prin introducerea de polimeri, sau prin utilizarea plastifianților [9].

Polimerii utilizați în compozițiile adezive anaerobe se introduc în scopul diminuării tăriei legăturii formate (în cazurile în care se urmărește rigidizarea parțială a ansamblurilor), sau pentru mărirea viscozității adezivului, astfel încît acesta să poată fi aplicat cu ușurință pe suprafețele de lipit. În acest scop se utilizează copolimerul stiren-acrilat de metil, po-

Scanned with OKEN Scanner

liacetatul de vinil, polistirenul, polimetacrilatul de metil, copolimerul stiren-anhidridă maleică, cauciuc clorurat, copolimerul acrilonitril-acrilat de etil, 1,2-butadiena, cauciucul nitrilic cu grupe terminale vinil, carbonil, mercapto etc.

Utilizarea diferiților *plastifianți* (esteri ai acizilor ftalic, trimelitic, fumaric, maleic cu monoeterii metilici sau etilici ai etilenglicolului, uleiuri sicative, dibutil sebacat, dibutil maleat etc.) este indicată nu numai pentru reglarea tăriei legăturii formate ci și pentru a conferi o flexibilitate mai mare peliculelor formate.

Pentru *amorsarea reacției de polimerizare* în compozițiile adezive anaerobe se introduc *inițiatori*. Natura și concentrația acestora în sistem influențează viteza și temperatura de întărire. Se folosesc în general peroxizi organici, hidroperoxizi, compuși organici oxigenați sau peresteri hidrolizabili. Cei mai utilizați sînt hidroperoxidul de cumen și hidroperoxidul de diizopropilbenzen, în concentrație de 0,1 pînă la 10%.

În scopul întăririi rapide a rășinii la temperatura camerei în compoziția adezivă se introduc *acceleratori*. Aceștia formează cu inițiatorii sisteme redox capabile să inițieze reacția de polimerizare la temperaturi scăzute. Se utilizează în calitate de acceleratori amine terțiare alifatice, amine aromatice, derivați ai hidrazinei, sulfone aromatice, combinații heterociclice cu caracter aromatic, imide și amide, sulfimide. Cel mai indicat accelerator este sulfimida benzoică, care prezintă avantajul conferirii unei stabilități ridicate compoziției adezive anaerobe.

Alegerea sistemului redox utilizat pentru întărirea adezivului este de cea mai mare importanță. Acest lucru este determinat de faptul că adezivul trebuie să fie stabil în flacon la temperatura camerei cel puțin un an, dar în același timp trebuie să polimerizeze rapid în momentul în care este introdus între suprafețele metalice ce urmează să fie asamblate.

O problemă importantă este *stabilitatea la stocare* a compoziției adezive anaerobe, fapt pentru care se introduc *inhibitori*. Aceștia sînt substanțe din clasa chinonelor, nitroderivaților, fenolilor substituiți, tiazinelor etc., capabile să mărească stabilitatea compozițiilor adezive anaerobe, fără a afecta însă timpul de întărire și tăria legăturii formate.

Studii detaliate efectuate asupra procesului de sinteză, polimerizare și copolimerizare a oligoestermetacrilaților au permis alegerea variantei celei mai avantajoase de obținere a adezivilor anaerobi și stabilirea concentrației optime pentru fiecare componentă participantă în amestec [10—15]. Mecanismul intim însă al procesului de întărire în condiții anaerobe și natura legăturii adeziv-metal nu au fost încă pe deplin elucidate.

2. Îmbinarea cu rășini adezive anaerobe

Rășinile adezive anaerobe, datorită structurii și caracteristicilor deosebite pe care le prezintă, au multiple utilizări industriale, devenind în prezent un mijloc eficient de realizare a oricărui tip de îmbinare. În consecință, plasat între două suprafețe metalice care urmează a fi asamblate adezivul anaerob, datorită capacității sale de penetrație, pătrunde în toate interstițiile, rugozitățile suprafețelor și în toate celelalte spații

Scanned with OKEN Scanner

generate de devierile de formă ale elementelor de îmbinare, rășina din care este constituit polimerizează rapid dezvoltînd rezistențe mecanice considerabile la temperatura ambiantă. Rezistența deosebită la coroziune chimică și la variațiile mari de temperatură, stabilitatea bună în prezența solvenților, rezistența mecanică excelentă, precum și aderarea perfectă la suprafețele metalice, sticlă, ceramică și majoritatea maselor plas-

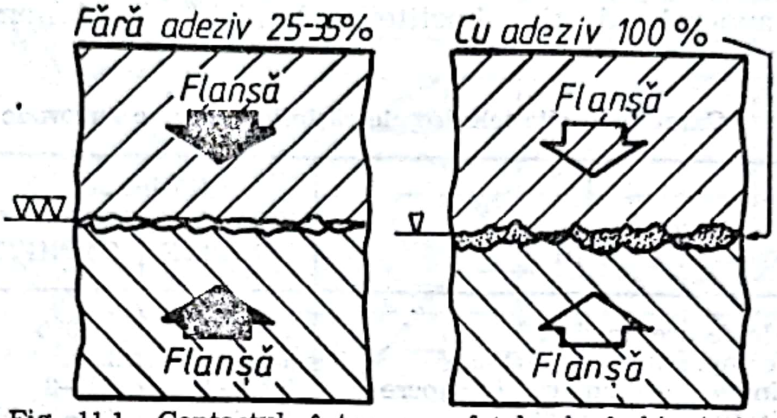


Fig. 11.1. Contactul între suprafețele de îmbinat, în cazul îmbinărilor mecanice clasice și în cazul utilizării adezivilor anaerobi.

tice constituie cîteva dintre performanțele acestui adeziv. Prin această îmbinare se obține pe cale chimică o fixare mecanică efectivă.

Creșterea considerabilă a rezistenței îmbinării realizată cu ajutorul adezivilor anaerobi nu *rezultă* prin comprimarea unui material deformabil ci *prin creșterea contactului între suprafețele de îmbinat la 100%*. În mod frecvent, la îmbinările mecanice clasice zona de contact nu depășește 25—35% din suprafața totală, chiar și cînd suprafețele sînt fin prelucrate (fig. 11.1).

În timpul procesului de întărire contracțiile sînt complet neglijabile, datorită lipsei solvenților și a incorporării integrale a ingredienților în rețeaua tridimensională.

Zonele de îmbinare cu adezivi anaerobi trebuie astfel alese sau construite încît zona rigidizată să fie solicitată prin forțe de compresiune și preferențial de forfecare. Acesta este cazul corpurilor îmbinate cu simetrie de rotație, filete, bucșe, roți, arbori, lagăre, țevi etc. precum și al suprafețelor plane menținute în contact datorită unei forțe exterioare cum ar fi de exemplu suprafețele flanșelor sau suprafețele elementelor de carcasă. În general în cazul adezivilor anaerobi trebuie evitate solicitările la întindere și încovoiere ale pieselor îmbinate. Un raport ridicat *L/D* (lungime/diametru) asigură o bună repartizare a tensiunilor în interstițiul lipit.

3. Caracteristicile rășinilor adezive anaerobe

Rășinile adezive anaerobe diferă între ele prin rezistența la o forfecare a îmbinării, viscozitate și viteza de întărire. Rezistența la forfecare fiind bine definită pentru fiecare tip de rășină se poate determina în pre-

alabil rezistența îmbinării pieselor asamblate, luînd în considerație rugozitatea suprafețelor, jocul dintre acestea și materialul de construcție.

Rășinile adezive anaerobe „Loctite" posedă viscozități ce variază între 10 și 20 000 cP (la 25°C), ceea ce permite aplicarea acestora pentru jocuri între suprafețe cuprinse între 0,2 mm (ajustaj forțat) pînă la 0,6 mm. În tabelul 11.1 sînt prezentate caracteristicile tehnice generale ale rășinilor adezive anaerobe de tip „Loctite", „Omnifit" și „Monomet".

Tabelul 11.1

Caracteristicile tehnice ale rășinilor adezive anaerobe

Caracteristica	Rășini adezive anaerobe		
	LOCTITE	OMNIFIT	MONOMET
Rezistența la forfecare, în daN/^{2}	10—400	5—300	10—360
Rezistența la compresiune, în daN/cm^2	4 500	3 000	3 500
Elasticitatea, în % din alungirea la rupere	0,25—2	0,5—3	0,2—7
Modulul de elasticitate E, în daN/cm^2	$14—28 \cdot 10^3$	$30—45 \cdot 10^3$	—
Coeficientul de dilatare termică, 1/°C	$80 \cdot 10^{-6}$	$20 \cdot 10^{-5}$	$100 \cdot 10^{-6}$
Conductivitatea termică, în cal/cm·s·°C	$4{,}1 \cdot 10^{-4}$	$4{,}0 \cdot 10^{-4}$	$4—5 \cdot 10^{-4}$
Factorul de pierdere dielectrică la 25°C și 1 000 cP	0,05	0,05	0,025
Rezistență termică, în °C	—	De la —60 la +150	—
Coeficientul de frecare	0,6	—	—
Duritatea Brinell/duritatea Barcol	9,5/80	8,2/70	—/75
Capacitatea calorică masică, în cal/g·°C	0,4	0,4	0,3—0,4
Constanta dielectrică (50 Hz—1 MHz)		4	
Rezistența la străpungere, în kV/mm	10	4	2—3
Rezistivitatea electrică, în Ωcm		10^{15}	

În general rășinile adezive anaerobe au o anumită culoare, prin aceasta făcînd posibil controlul calității îmbinării prin tehnica fluorescenței.

4. Influența timpului de întărire asupra rezistenței finale a îmbinării

Timpul de întărire sau de polimerizare reprezintă timpul necesar adezivului pentru a fi transformat într-un film dur complet întărit. Deoarece rezistența îmbinării realizată cu adezivul anaerob crește în timp, în tehnica aplicării acestor adezivi se disting trei durate funcționale; timpul necesar apariției rezistenței la mînuire manuală (t_m), care reprezintă timpul pînă la care efortul manual este insuficient pentru dezasamblare și care de regulă variază între 10—35 min; timpul necesar apariției rezistenței funcționale (t_f) care reprezintă timpul pînă la care utilizarea ansamblului sau a pieselor nu este permisă (2—3 h) și în sfîrșit timpul pînă la care se dezvoltă rezistența finală (t_t) a îmbinării, de regulă 24 ore. Ca urmare, toate tipurile de adezivi anaerobi au valori bine definite pentru t_m, t_f, t_t.

Scanned with OKEN Scanner

Influența timpului de întărire asupra rezistenței de forfecare a adezivilor anaerobi de tip LOCTITE și OMNIFIT sînt prezentate în fig. 11.2 și fig. 11.3.

Timpul de întărire și implicit viteza de întărire depind de temperatură și anume cresc o dată cu ridicarea temperaturii și este determinat într-o măsură considerabilă de natura materialului de construcție al pie-

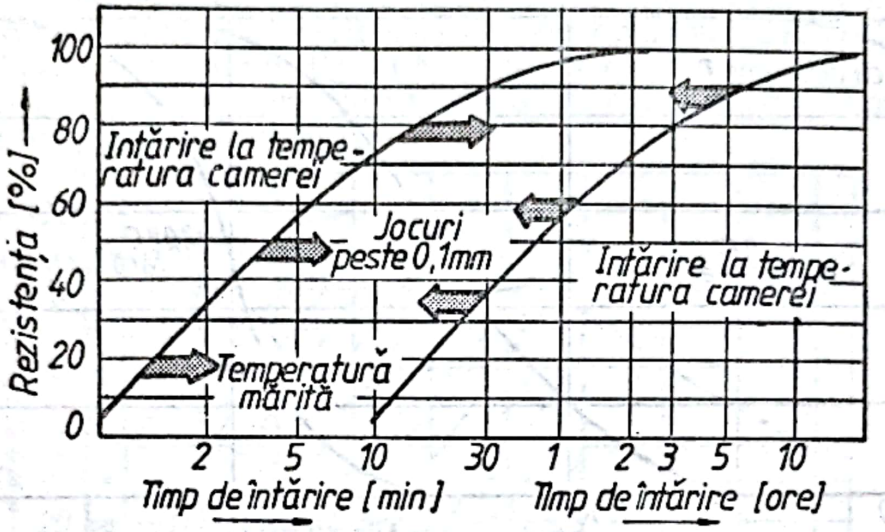


Fig. 11.2. Influența timpului de întărire asupra rezistenței la forfecare a adezivilor anaerobi de tip „Loctite" determinate pentru oțel normal.

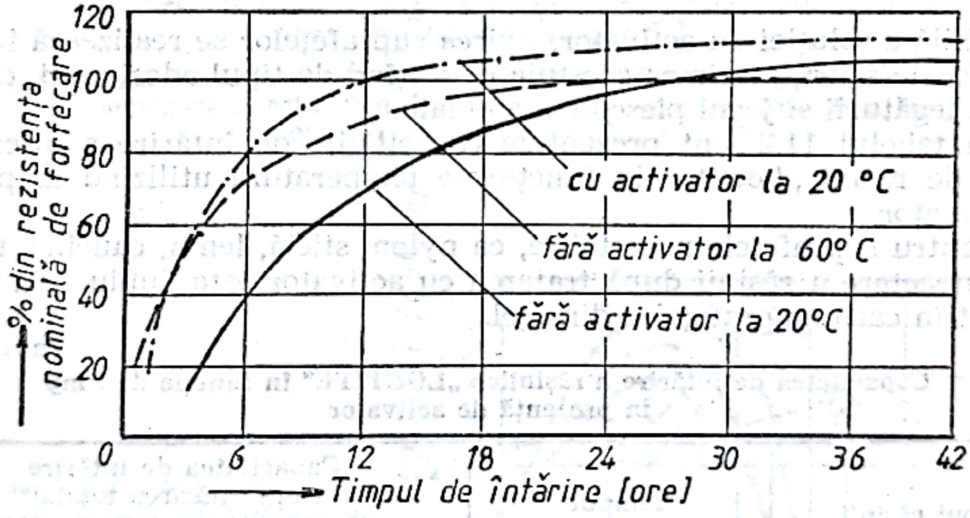


Fig. 11.3. Influența timpului de întărire asupra rezistenței la forfecare a adezivilor anaerobi de tip „Omnifit" obținute în cazul îmbinărilor oțel/oțel.

selor ce urmează a fi asamblate. De aceea valorile medii ale caracteristicilor tehnice sînt date în general pentru cuplu de material oțel-oțel și temperatura de 20°C.

Pe metale active, Cu, Co, Mn, oțeluri înalt aliate, rășinile adezive se întăresc mai rapid decît pe sorturile normale de oțel, acestea exercitînd un efect catalitic [16]. Suprafețele pasivate chimic, cromate, zincate, eloxate, cadmiate, determină o reducere puternică a vitezelor de întărire. În asemenea cazuri se recomandă utilizarea suplimentară de *activatori* [17, 18],

Scanned with OKEN Scanner

care pulverizaţi pe suprafeţele îmbinării accelerează procesul de întărire (fig. 11.4).

În cazul adezivilor anaerobi soluţiile activatoare sînt constituite din complecşi metalici pe bază de Co sau Cu dizolvaţi în solvenţi, de regulă tricloretan, care cumulează şi proprietăţi degresante foarte bune. Produsul comercial cel mai cunoscut este „Locquic Activator T" [19]. Prin aplicarea

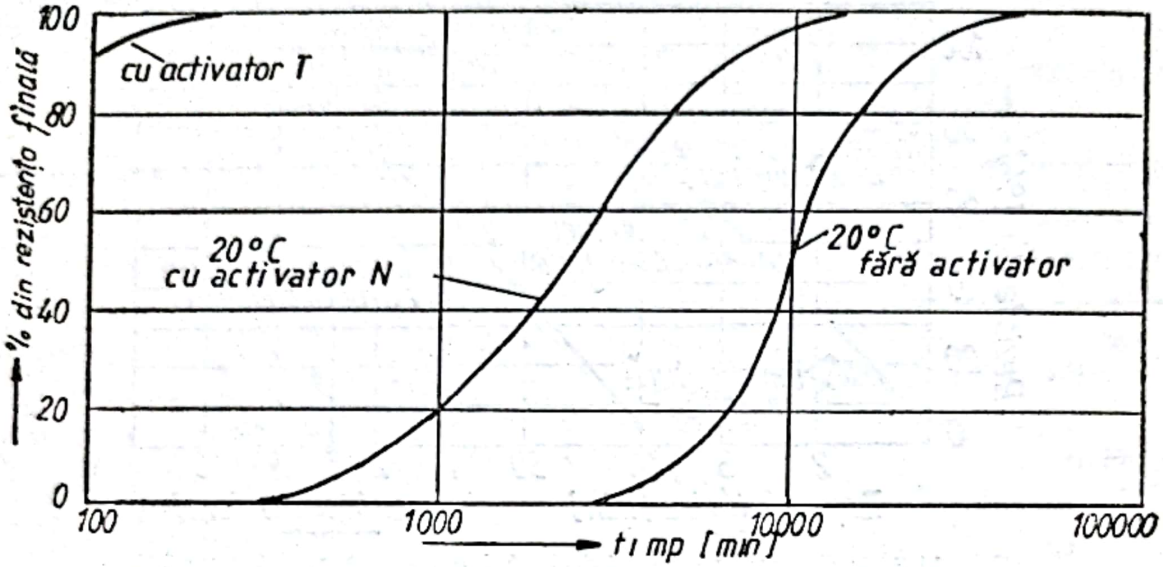


Fig. 11.4. Influenţa activatorilor asupra timpului de întărire a răşinilor adezive anaerobe (materialul de construcţie a îmbinării oţel).

prealabilă a soluţiei de activator, lipirea suprafeţelor se realizează într-un timp foarte scurt, mărimea acestuia depinzînd de tipul adezivului, dimensiunea legăturii şi jocul pieselor asamblate.

În tabelul 11.2 sînt prezentate capacităţile de întărire a diferitelor tipuri de răşini „Loctite" în funcţie de temperatură utilizînd în prealabil activator.

Pentru suprafeţele nemetalice, ca nylon, sticlă, lemn, cauciuc, timpul de compactare a răşinii după tratarea cu activator este dublu faţă de cel obţinut în cazul suprafeţelor din oţel.

Tabelul 11.2

Capacitatea de întărire a răşinilor „LOCTITE" în funcţie de timp în prezenţă de activator

Tipul răşinii LOCTITE	Timpul de compactare min	Capacitatea de întărire (% din întărirea totală)*			
		Timpul, min			
		20	30	60	120
290	10	80	90	100	—
270	5	75	80	90	100
275	5	75	80	90	100
221	10	80	90	100	—
222	5	60	80	90	100
225	5	60	80	90	100
542	10	40	60	80	90—100

Scanned with OKEN Scanner

5. Stabilitatea termică a adezivilor anaerobi

Domeniul de temperatură în care adezivii anaerobi pot fi utilizaţi este cuprins între —55°C şi +150°C. Utilizarea mai îndelungată la temperaturi situate la limita superioară a acestui interval nu diminuează considerabil acţiunea de etanşare. Modificarea rezistenţei îmbinării în funcţie de temperatură, pentru adezivii anaerobi de tip LOCTITE, MONOMET, OMNIFIT pot fi urmărite în fig. 11.5 . . . fig. 11.7.

Remarcăm în toate cazurile că rezistenţa maximă este atinsă întotdeauna la temperatura ambiantă.

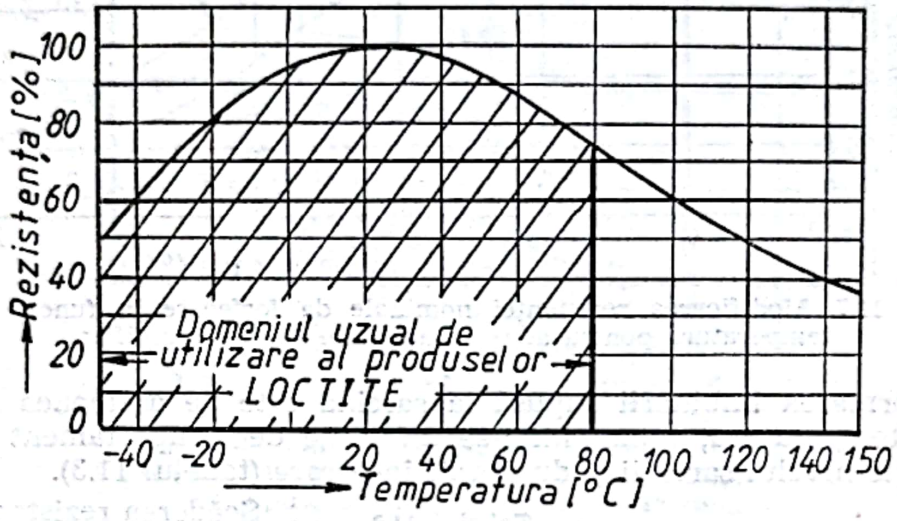


Fig. 11.5. Variaţia rezistenţei nominale a diferitelor tipuri de adezivi anaerobi „Loctite" în funcţie de temperatura (stabilitate termică determinată la îmbinări între metale).

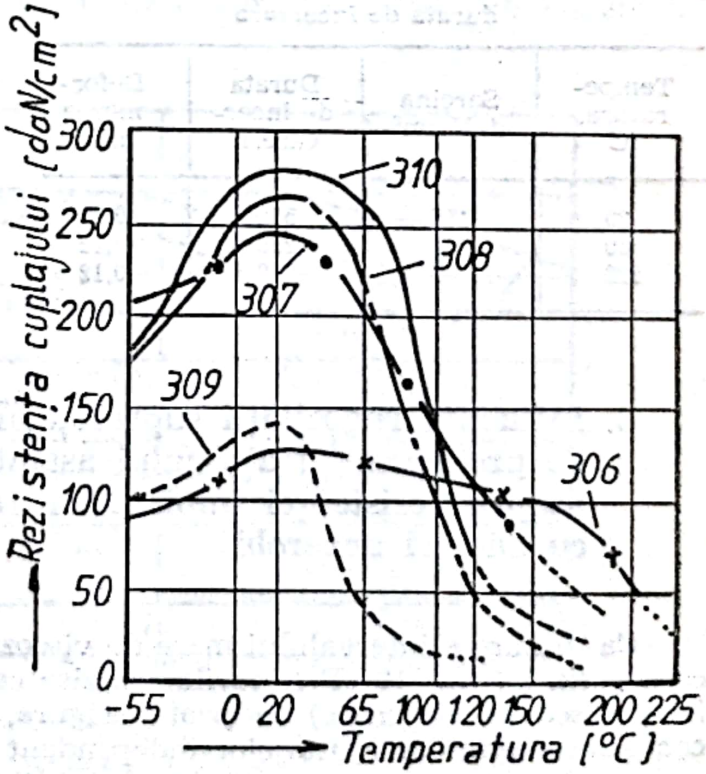


Fig. 11.6. Influenţa temperaturii asupra rezistenţei la cuplare a îmbinărilor din oţel în cazul adezivilor anaerobi de tip „Monomet".

Scanned with OKEN Scanner

Semnificativ este faptul că la o răcire ulterioară a îmbinării în cazul unei încălziri prealabile se recapătă rezistența inițială, cu excepția pierderilor prin histerezis, care însă pot fi neglijate avînd în vedere valorile reduse ale acestora.

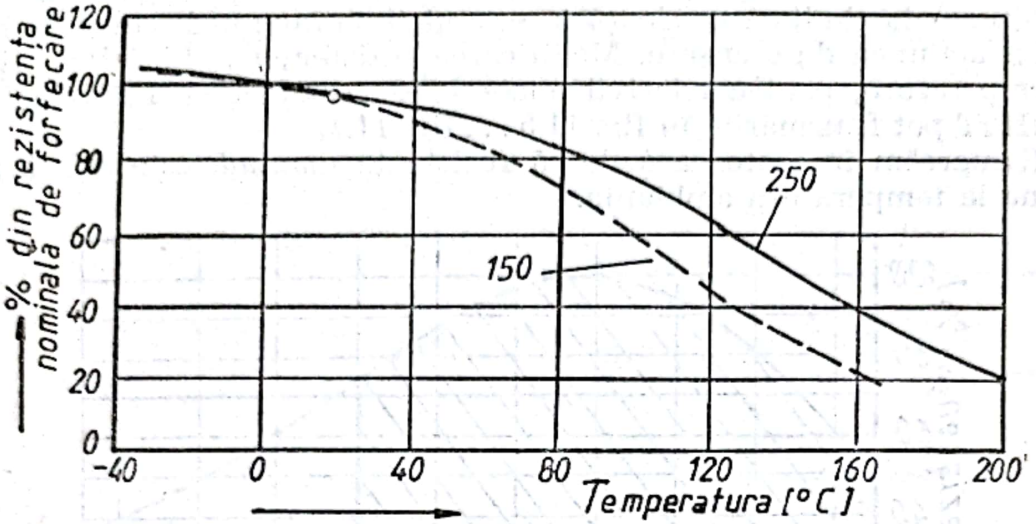


Fig. 11.7. Modificarea rezistenței nominale de forfecare în funcție de temperatura pentru adezivii anaerobi de tip „Omnifit".

Deformarea îmbinării supusă la sarcină este de asemenea influențată de temperatură, remarcîndu-se diferențe de comportament în ceea ce privește nivelul sarcinii și durata de încercare (tabelul 11.3).

Tabelul 11.3

Influența temperaturii asupra deformării realizate cu adeziv anaerob în funcție de sarcină și durata de încercare

Temperatura, °C	Sarcina daN/cm²	Durata de încercare, h	Deformarea mm
20	155	500	0,12
80	55	250	0,12
120	40	250	0,12

Scăderea rezistenței îmbinării o dată cu ridicarea temperaturii reprezintă o condiție utilă în practică atunci cînd se urmărește dezasamblarea pieselor rigidizate cu adezivi anaerobi. În acest caz o încălzire a zonei asamblate la o temperatură în jur de 200°C este suficientă pentru forțarea desprinderii pieselor asamblate.

6. Influența rugozității suprafețelor, toleranțelor de prelucrare și a jocului asamblării asupra rezistenței îmbinărilor realizate cu adezivi anaerobi

Ca urmare a intervalului mare de viscozitate al adezivilor anaerobi și care variază între 10 cP (tipurile așa-zise capilare) și 20 000 cP (tipurile înalt viscoase, tixotrope) se poate asigura, în orice condiții, umplerea completă a spațiilor ajustajelor independent de toleranțele existente.

Scanned with OKEN Scanner

La îmbinările cu adezivi anaerobi rezistența se produce prin ancorarea mecanică a produsului între vîrfurile rugozității și întărirea ulterioară a acestuia prin efectul anaerobic.

În general creșterea nivelului rugozității suprafețelor de ansamblat afectează pozitiv performanțele adezivului. Dependența între rezistența îmbinării și rugozitatea suprafeței este prezentată sugestiv în fig. 11.8,

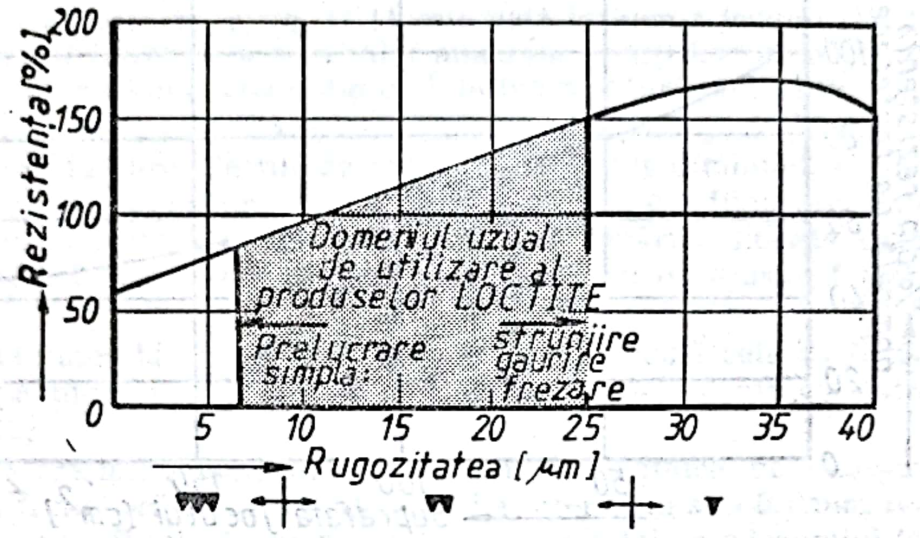


Fig. 11.8. Variația rezistenței nominale de forfecare în funcție de rugozitatea suprafețelor supuse îmbinării cu adezivi anaerobi.

indicîndu-se totodată și tipurile de prelucrări mecanice. Domeniul uzual al rugozității suprafețelor pentru utilizarea produselor de tip Loctite se situează între 10—25μm.

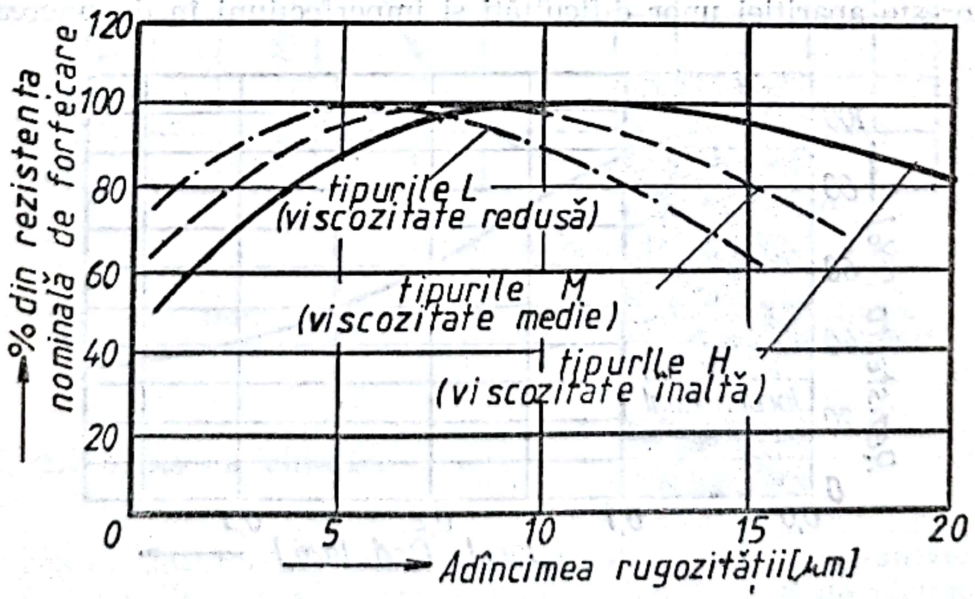


Fig. 11.9. Influența viscozității adezivilor anaerobi asupra dependenței între rezistența la forfecare a îmbinării și adîncimea rugozității suprafețelor de contact.

Scanned with OKEN Scanner

Dacă o îmbinare asamblată este solicitată la răsucire, rugozitatea suprafeței trebuie să fie de maximum 20 $\mu m \cdot R_t$. Influența viscozității adezivului anaerob de tip Omnifit în ceea ce privește dependența între rezistența la forfecare a îmbinării și adîncimea rugozității este dată de fig. 11.9 Remarcăm faptul că o creștere a viscozității adezivului anaerob

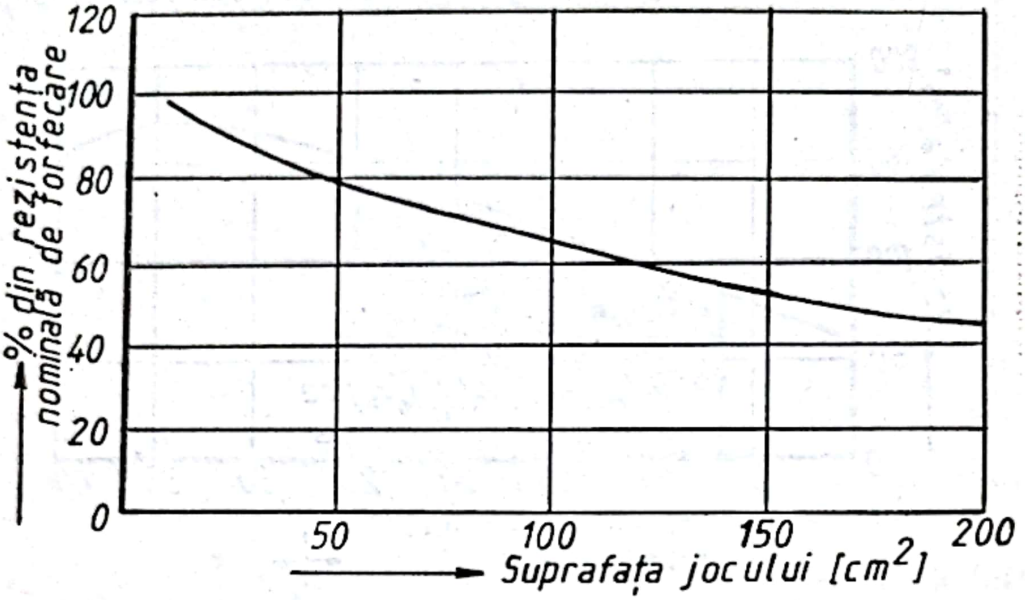


Fig. 11.10. Influența suprafeței jocului asupra modificării rezistenței.

este întotdeauna necesară în cazul unor rugozități mari ale suprafețelor ce urmează să fie asamblate.

Un aspect cu totul semnificativ în ceea ce privește tehnica de îmbinare cu adezivi anaerobi este acela că rezistența la forfecare se diminuează pe măsură ce crește suprafața de îmbinare (fig. 11.10). Acest lucru se datorește apariției unor dificultăți și imperfecțiuni în depunerea ade-

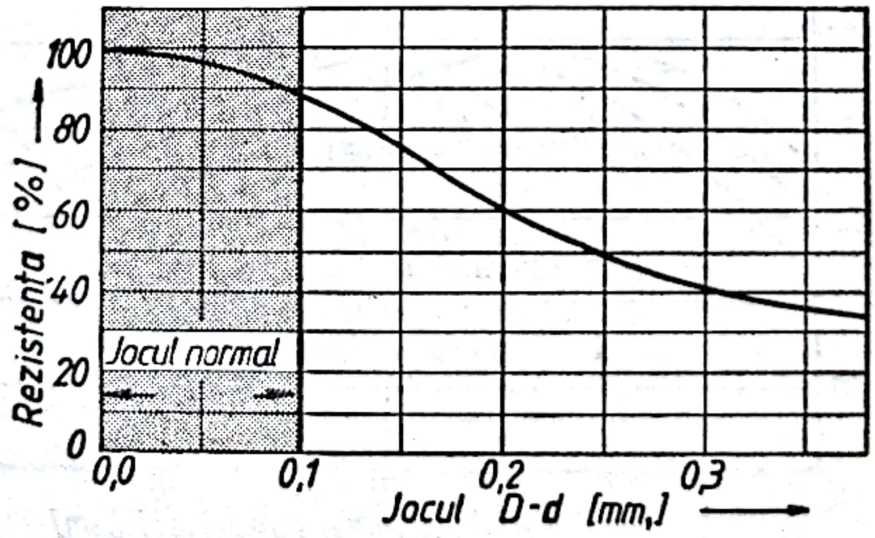


Fig. 11.11. Variația rezistenței la forfecare a unor îmbinări realizate cu adezivi anaerobi în funcție de mărimea jocului $D-d$.

Scanned with OKEN Scanner

zivului pe suprafețe mari, ceea ce determină o întărire neuniformă pe întreaga suprafață [20].

În afară de rugozitatea și mărimea suprafețelor de ansamblat, jocul între acestea este de asemenea foarte important în ceea ce privește prevederea rezistențelor ce urmează a fi obținute. Cele mai bune valori ale rezistenței se obțin la un joc normal, pînă la 0,1 mm. Cînd jocul între piese este prescris, este necesar a se folosi un adeziv anaerob de viscozitate corespunzătoare. În fig. 11.11 este dată influența jocului $D—d$ asupra rezistenței la forfecare a adezivilor anaerobi de tip Loctite obținuți în cazul unor piese confecționate din oțel, la temperatură ambiantă.

Jocurile mici necesită adezivi foarte fluizi, iar jocurile mari adezivi mai viscoși în care efectul de curgere este mult diminuat. Cu creșterea jocului se mărește și timpul de întărire, în acest caz fiind preferabilă utilizarea suplimentară a activatorilor. La îmbinări solicitate extrem de mult se pot folosi și adezivi anaerobi asociați cu un ajustaj forțat al pieselor.

Stabilitatea la presiune a îmbinărilor (de regulă cele cu flanșe) imediat după montaj este de asemenea afectată de toleranțele între piese (fig. 11.12).

Prin creșterea mărimii interstițiului capacitatea de etanșare imediată va fi mai scăzută (sub 0,1 mm). La interstițiu sub 0,1 mm rezistența la presiune va fi atinsă numai după întărirea totală a adezivului (cca 24 h la temperatura camerei).

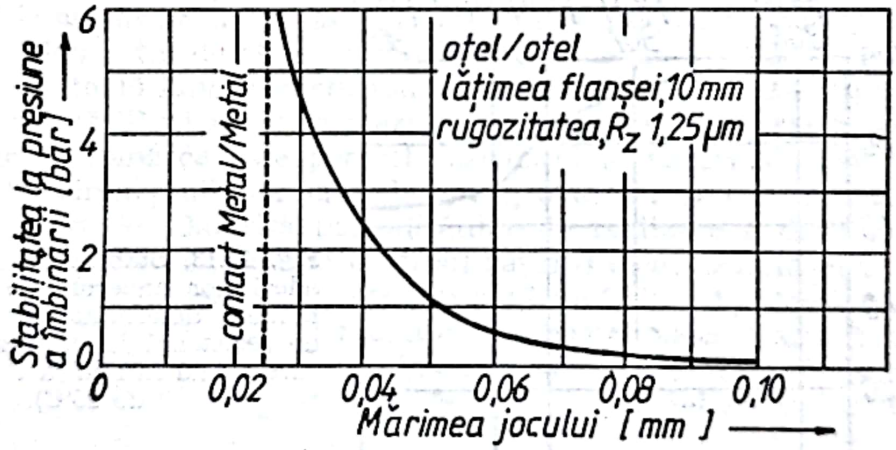


Fig. 11.12. Influența toleranțelor pieselor supuse montajului, cu adezivi anaerobi asupra stabilității la presiune a îmbinării.

7. Stabilitatea chimică

Adezivii anaerobi în stare complet întărită au o stabilitate foarte bună față de ulei, benzină, solvenți organici și agenți de răcire. Cu cît este mai mare rezistența mecanică a adezivului cu atît este mai bună și stabilitatea sa chimică. În tabelul 11.4 sînt prezentate rezultatele unor

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 11.4

Stabilitatea chimică a adezivilor anaerobi în prezența unor substanțe chimice de natură organică*

Mediul	Temperatură °C	Rezistența la forfecare inițială daN/cm²	Rezistența la forfecare finală daN/cm²	Pierderea rezistenței mecanice %
Acetonă	25	125	125	100
Tricloretilenă	25	125	105	84
Ulei	100	125	125	100
Hidrocarburi alifatice	100	125	112	89
Glicol/Apă	100	125	125	100
Apă	100	125	125	100

* Testul a fost efectuat pe o îmbinare oțel-oțel. Timp de imersie 30 zile.

teste de stabilitate chimică a unor îmbinări oțel-oțel asamblate cu adeziv anaerob în prezența a diferite substanțe chimice.

Stabilitatea chimică depinde însă și de natura adezivului, creșterea viscozității afectînd pozitiv comportamentul la agresivitatea agenților chimici. Un exemplu sugestiv îl reprezintă seria adezivilor de tip Monomet fig. 11.13).

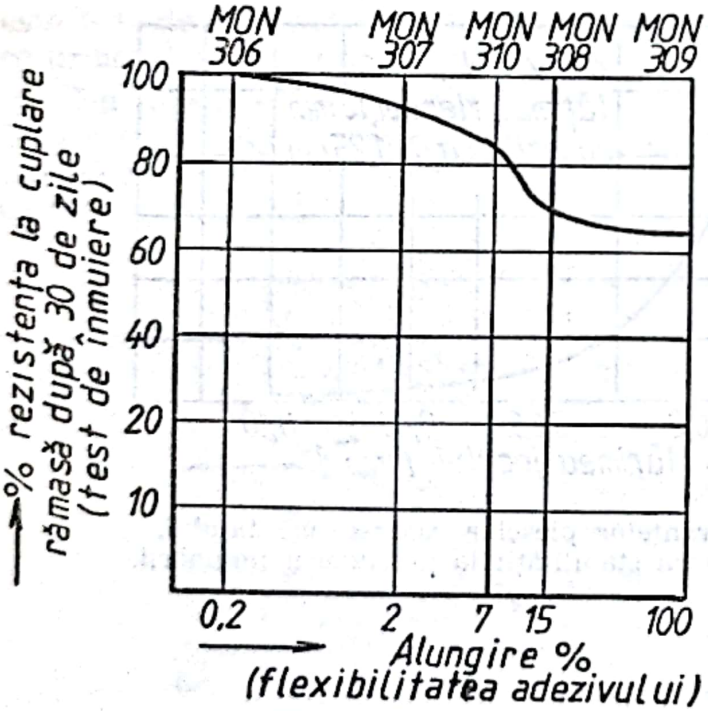


Fig. 11.13. Stabilitatea chimică a adezivilor anaerobi de tip „Monomet" determinată prin testul de rezistență la umiditate (imersare totală în apă la temperatura de 25°C).

De remarcat faptul că acizii precum și hidroxizii alcalini atacă stratul de adeziv, degradarea fiind funcție de concentrația acestora și de temperatură. În practică, pentru cazurile în care nu deținem informații generale asupra stabilității adezivilor anaerobi în prezența unor anumite substanțe chimice este preferabilă efectuarea unor teste preliminare.

Scanned with OKEN Scanner

8. Principalele tipuri de rășini adezive anaerobe „Loctite" și domeniile de aplicare a acestora

Rășinile adezive anaerobe „Loctite", după scopul în care sînt utilizate, se împart în trei mari grupe: rășini adezive anaerobe de blocare, rășini adezive anaerobe de fixare (siguranță) și rășini adezive anaerobe de etanșare (fig. 11.14). În tabelele 5—7 sînt prezentate cele trei grupe de rășini,

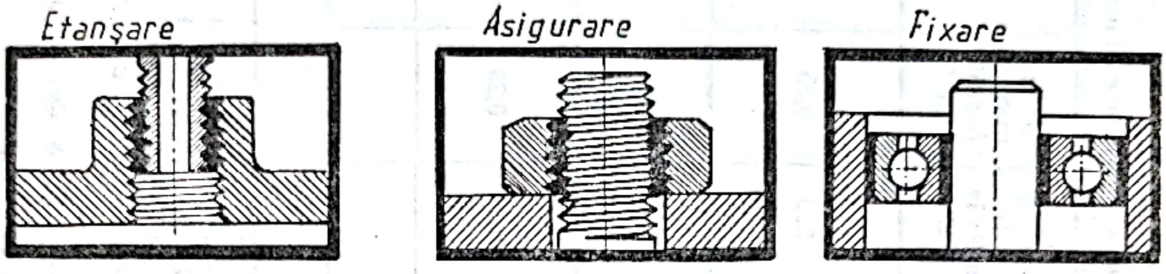


Fig. 11.14. Reprezentarea schematică a principalelor tipuri de rășini adezive anaerobe utilizate în tehnică: adezivi anaerobi de asigurare-blocare, adezivi anaerobi de fixare și adezivi anaerobi de etanșare.

menționîndu-se domeniul lor de aplicare și principalele lor caracteristici tehnice [21].

Rășini adezive anaerobe de blocare. Rășinile din această clasă sînt utilizate, în general, pentru blocarea diferitelor tipuri de șuruburi și prezoane. Ele asigură o fixare la fel de rigidă ca și ajustările obișnuite cu joc negativ. Momentul de strîngere realizat are valori mari și se repartizează uniform pe toată lungimea șurubului, deoarece tot jocul filetului este umplut cu rășină. Pentru jocuri mari ale filetelor se aplică rășini cu viscozități mari. Îmbinarea este perfect rezistentă la șocuri și vibrații, făcînd inutilă folosirea piuliților crenelate, a groverelor sau a altor sisteme de siguranță uzuale. Datorită posibilităților de realizare a diferitelor rezistențe la forfecare (în funcție de tipul rășinii) este posibilă efectuarea reglajelor ulterior, eventual, printr-o ușoară încălzire. Aplicarea rășinii realizîndu-se rapid, piesa sau racordul se poate plasa imediat în poziția dorită, permițînd astfel o importantă economie de timp. Demontarea se face ușor prin încălzire, evitîndu-se astfel orice fel de deformare a șuruburilor.

Rășini adezive anaerobe de fixare (siguranță). Aceste tipuri de rășini sînt indicate pentru fixarea pieselor cilindrice supuse la sarcini axiale și radiale (bucșe, manșoane, roți dințate, elice de ventilator, rotoare, axe etc.). Jocul pieselor de asamblat pînă la o toleranță de $\pm$ 0,15 mm nu are influență asupra rezistențelor realizate utilizînd rășina adezivă. În cazul în care este necesară o ajustare strînsă, rezistențele la expulzare sînt incomparabil mai mari decît în cazul îmbinărilor obișnuite (fără rășină).

Rezistențele la forfecare obținute depind în mare măsură de mărimea suprafeței de ajustare, rugozitatea și natura materialului din care sînt confecționate piesele. Trebuie remarcat faptul că rezistența la forfecare pe cm^2 poate avea o dispersie pe lungime, ceea ce determină ca de la su-

Scanned with OKEN Scanner

Caracteristicile şi domeniile de aplicare a răşinilor adezive anaerobe de blocare „Loctite"*

Tabelul 11.5

Domeniul general de utilizare	Tipul adezivului	Culoarea produsului	Rezistenţa de rupere la forfecare N/mm²			Viscozitate mPs la 25°C**	Jocul maxim posibil mm***	Rezistenţa la mînuire manuală la 20°C după min	Rezistenţa finală la 20°C după h
			τ_{b1}	τ_{b2}	τ_p				
Blocarea prezoanelor şi şuruburilor pînă la M 40 fără ajustaj de strîngere. Blocarea prezoanelor şi şuruburilor cu jocuri largi pînă la M 60. Ambele blocaje au rezistenţă maximă.	270	Verde	15—20	8—12	10—15	500	0,25	10—15 (minimum)	3
Produs standard pentru blocarea tuturor conexiunilor prin filet pînă la M 16. Rezistenţă medie la blocare.	242	Albastru	8—12	4—8,5	2—4	1 000 (tixotrop)	0,20	10—30 (minimum)	3
Blocarea tuturor îmbinărilor cu filet care prezintă jocuri largi şi necesită demontare. Blocarea şuruburilor de reglare şi ajustare pînă la M 16. Rezistenţă la vibraţii.	222	Purpuriu	3—5	1,5—4	2—4	1 000 (tixotrop)	0,25	10—30 (minimum)	3
Blocarea elementelor mici de precizie. Blocarea elementelor de îmbinare după montaj. Etanşarea unor suduri sau piese poroase.	290	Verde	8—12	4—6,5	10—15	10—15	0,1	10—30 (minimum)	3

* Se utilizează în domeniul de temperatură —55°C la +150°C; τ_{b1} — rezistenţă de rupere la forfecare, calculată din momentul de torsiune la rupere măsurată asupra unui şurub cu piuliţa M 10×20; τ_{b2} — rezistenţa de rupere la forfecare măsurată pe piese cilindrice de oţel cu ∅ 12,7 mm L/D=0,88 toleranţa diametrului 0,05 mm şi rugozitatea 0,8—1,6 m; τ_p — rezistenţa de rupere la forfecare prin fricţiune, calculată din momentul de torsiune mediu predominant după 1/4, 1/2, 3/4 şi 1 rotaţie a piuliţei măsurată asupra unui şurub cu piuliţa M 10×20.

** Viscozitatea produselor tixotropice se măsoară după procedeul Brookfield (cu ax de măsură rotitor), iar cele cu comportare normală la curgere cu viscozimetrul cu bilă Haake.

*** Cele mai bune valori de rezistenţă se obţin la un joc cuprins între 0,03 şi 0,07 mm.

Tabelul 11.6

Caracteristicile şi domeniile de aplicare a răşinilor adezive anaerobe

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 11.6

Caracteristicile şi domeniile de aplicare a răşinilor adezive anaerobe de fixare „Loctite"*

Domeniul general de utilizare	Tipul adezivului	Culoarea produsului	Rezistenţa de rupere la forfecare N/mm²			Viscozitate mPs la 25°C**	Jocul maxim posibil mm***	Rezistenţa la mînuire manuală la 20°C după	Rezistenţa finală la 20°C după h
			τ_{b1}	τ_{b2}	τ_p				
Tipul standard de adeziv pentru fixarea părţilor cilindrice netede şi rigide (lagăre, bucşe, bolţuri). Determină o securitate de funcţionare a ansamblurilor formate din piese îmbinate prin presare (roţi dinţate, rotoare, mufe, bucşe)	601	Verde	17,5—22,5	6—9	10—15	125	0,15	10—30 min.	3
Tipul standard pentru fixarea lagărelor de alunecare sau a rulmenţilor pe axe sau în carcase (locaşuri)	641	Galben	8—12	4—6	4—6	550 (tixotrop)	0,25	10—30 min.	3
Fixarea unor piese cilindrice asamblate cu ajustaj cu frecare. Fixarea ansamblurilor cu pană şi canelate. Fixarea de racorduri nefiletate. Fixează puternic părţile cilindrice netede supuse la şocuri şi vibraţii. Îmbinare asamblată de mare rezistenţă	638	Verde	25—30	15—20	15—25	2 500	0,25	5—15 min.	3
Fixarea garniturilor de etanşare pentru ulei la armăturile metalice. Măresc performanţele asamblării prin presare	644	Purpuriu	8—15	4—5	4—5	1 500	0,27	10—30 min.	4

*; **; *** — v. tabelul 5.

Scanned with OKEN Scanner

Caracteristicile şi domeniile de aplicare a răşinilor adezive anaerobe de etanşare „Loctite"*

Tabelul 11.7

Domeniul general de utilizare	Tipul adezivului, conform catalogului firmei Loctite	Culoarea produsului	Rezistenţa de rupere la forfecare N/mm²			Viscozitatea, mPs, la 25°C**	Jocul maxim posibil*** mm	Rezistenţa la mînuire manuală la 20°C după	Rezistenţa finală la 20°C după h
			τ_{b1}	τ_{b2}	τ_p				
Etanşarea conductelor hidraulice şi a conductelor de aer comprimat pînă la un diametru de 3/4 ţol	542	Maro	8—12	4—6	4—6	600	0,25	După 10—30 min	3
Etanşarea ansamblurilor statice (flanşe, berclu etc.). Înlocueşte eficient garniturile convenţionale. Rezistenţă mare la presiune şi agenţi chimici.	510	Roşie	10—12	7—9	—	1 000 000	Interstiţiu, maximum 0,1	Imediat	12—24
Etanşarea suprafeţelor la piese bine ajustate. Blocarea bucşelor de Al pe oţel şi oţel inox. Înlocuieşte lipirea	573	Verde	2,5—4	4—7	—	17 000 (tixotrop)	Interstiţiu, maximum 0,1	Imediat	12—24
Etanşarea şi lipirea conductelor de abur pînă la 3 ţol. Rezistenţă foarte bună la temperaturi ridicate	572	Albă	4—6	2—4	0,6—2	17 000	0,5	Imediat	12—24
Etanşarea fisurilor datorate porozităţii din îmbinările sudate sau turnării. Rezistenţa la presiune mare	290	Verde	8—12	4—6,5	10—15	10—15	0,1	După 10—30 min	3

*), **) şi ***) — v. tabelul 5.

Scanned with OKEN Scanner

prafețe mai mari de 20 cm^2 rezistența la forfecare să nu crească proporțional cu suprafața.

Rășinile adezive din această clasă permit, de asemenea, fixarea tuturor tipurilor de rulmenți pe axe sau în carcase, evitîndu-se asamblările prin presare, care nu dau întotdeauna rezultate bune, precum și montarea îmbinărilor unse cu ulei, rezistența rășinii la lubrifianți fiind foarte bună.

Rășini adezive anaerobe de etanșare. Rășinile adezive de etanșare sînt utilizate pentru îmbinarea tuturor racordurilor filetate din țevi pînă la 4 țol, întîlnite în realizarea circuitelor industriale hidraulice, pneumatice, frigorifice, chimice sau calorice. Etanșarea acestor circuite cu rășinile adezive amintite asigură o funcționare perfectă pînă la presiunea de explozie a conductei.

Tipul Adeziv 307 mărește mult domeniul de aplicare a acestor rășini, el putînd fi utilizat și pentru executarea racordurilor fără filet.

Folosirea adezivului 307 este deosebit de avantajoasă prin faptul că înlocuiește sudura, făcînd posibilă în acest fel folosirea țevilor de Al în diferite sisteme de circuite, în locul țevilor de Cu, mult mai scumpe.

Unele rășini din această categorie pot fi folosite în condiții avantajoase la etanșarea cordoanelor de sudură, la astuparea porozității pieselor obținute prin turnare și a porilor de diferite tipuri, eliminînd astfel operații de finisare costisitoare.

De relevat faptul că rășinile de etanșare pot realiza, de asemenea, îmbinarea ansamblurilor statice (flanșe, bercluri etc.), fără a fi necesară prezența garniturilor clasice. Ca urmare a faptului că rășina se mulează perfect pe suprafețele flanșei, umplînd toate regularitățile și nivelînd rugozitatea, nu mai este necesară prelucrarea suprafețelor la strung, economia de timp și manoperă fiind apreciabilă.

9. Tehnica utilizării rășinilor adezive anaerobe

Rășinile adezive anaerobe pot fi conservate la temperatura ambiantă cel puțin un an. Este preferabilă depozitarea flacoanelor în poziție culcată, pentru a mări contactul rășinii cu aerul pe o suprafață cît mai mare.

Pregătirea suprafețelor de asamblat. Aplicarea rășinii se face după ce piesele au fost curățate de impurități și degresate prin tratarea acestora cu un solvent adecvat, de obicei tricloretilenă.

În cazul în care suprafețele sînt cadmiate, zincate sau nemetalice se execută tratarea acestora cu soluții activatoare. Același lucru se efectuează și în cazul în care se lucrează la temperaturi scăzute.

După evaporarea solventului, se aplică rășina adezivă și apoi se poate executa montajul respectiv.

Urmele de grăsimi, ulei și alte impurități (de pildă rugina) pe suprafețe împiedică ca adezivul să aibă un contact intim cu metalul și să se ancoreze rigid între suprafețe. Curățirea atentă a suprafețelor este foarte importantă cînd se cere o etanșare față de presiuni înalte sau dacă îmbinarea trebuie să reziste unor sarcini mecanice mari. Dacă degresarea se face insuficient (de pildă printr-o simplă ștergere cu o cîrpă) sau de loc,

Scanned with OKEN Scanner

trebuie să contăm pe valori mai scăzute ale rezistenței la forfecare. În aceste cazuri deficiențele pot fi compensate prin folosirea unor adezivi anaerobi cu rezistențe la forfecare mai mari decît cele prescrise.

Aplicarea și depunerea adezivilor anaerobi. Depunerea adezivului la îmbinările filetate (cu excepția filetelor mari ale țevilor) este suficient a se efectua numai pe filetul exterior.

La montarea prezoanelor adezivul trebuie să fie depus neapărat pe filetul interior, deoarece în caz contrar stratul de adeziv este presat afară prin evacuarea aerului în timpul înșurubării. Este util în aceste cazuri înșurubarea și deșurubarea prezonului de cîteva ori, pentru a îndepărta pe cît posibil tot aerul din locașul de montaj.

O depunere ulterioară a adezivului anaerob pe filetele deja montate este posibilă numai în cazuri excepționale. În aceste cazuri se pot utiliza numai tipurile așa-zise capilare de adezivi anaerobi, cu o viscozitate cuprinsă între 10—15 cP.

La îmbinările cu jocuri mici, adezivul anaerob se depune numai la capătul uneia dintre piese, iar la îmbinările cu jocuri mari pe ambele suprafețe de montaj. În ambele cazuri depunerea se face numai la capete sub forma unor inele închise, montarea efectuîndu-se apoi printr-o mișcare de rotație ușoară. În caz că este necesar se mai poate depune puțin adeziv pe interstiții, care se va scurge pe baza efectului de capilaritate.

O condiție absolută în cazul utilizării adezivilor anaerobi este ca depunerea să asigure umplerea completă a interstițiului pieselor ce urmează a fi asamblate. Numai în aceste condiții timpii de întărire vor fi foarte scăzuți, iar rezistența maximă a îmbinării va apare la cîteva ore după contactare.

Dozarea depunerii și aplicarea rapidă și precisă a adezivilor anaerobi în producția de serie, în funcție de necesitate, se poate face complet automat, semiautomat sau manual. Aparatura de dozare și aplicare poate fi integrată fără dificultăți în desfășurarea complet automatizată a operațiilor la o bandă de montaj. Pentru fiecare domeniu de utilizare se poate stabili sistemul cel mai economic.

Depunerea adezivului se poate efectua în cantități exacte prin comandă electropneumatică a unui cap de dozare care poate fi static sau montat pe un cilindru de avans și care este racordat mobil la un rezervor cu adeziv. În funcție de forma constructivă a diuzei capului de dozare depunerea se poate face sub formă de picături sau de cordon.

Un alt sistem de dozare a adezivului este prin pulverizare care poate fi operabil pînă la o viscozitate a produselor de maximum 6 000 cP. În acest caz capul pistol se poate racorda direct la flaconul cu adeziv anaerob și poate asigura depunerea de cantități reglabile cuprinse între 0,02—0,08 g. Pentru aplicarea adezivului în alezaje de la un diametru mai mare de 15 mm capul de pulverizare se introduce în alezaj și realizează depunerea adezivului într-o zonă inelară.

Pentru etanșarea suprafețelor pe suprafețele plane se utilizează cu mult succes tehnica de depunere prin serigrafie, aplicarea în acest caz putînd fi complet automată.

Rezistențele optime la asamblarea cu adezivi anaerobi se obțin la o grosime a stratului de $\leqslant 0{,}1$ mm. Dacă întărirea se face la temperatura

Scanned with OKEN Scanner

mediului ambiant nu trebuie depășită grosimea de strat de 0,12 mm, deoarece în caz contrar consumul de adeziv devine nejustificat.

Montarea și demontarea îmbinărilor cu adezivi anaerobi. Pentru montarea îmbinărilor blocate cu adeziv anaerob este suficientă o presiune de contact ușoară, care poziționează piesele și evită eventualele deformări. În general sînt suficiente valori în jur de 0,35 daN/cm². Ca urmare a celor menționate anterior și a faptului că jocul admis pieselor îmbinate cu rășini anaerobe este suficient de mare, montajul se poate executa în cele mai multe cazuri cu mîna. Pentru realizarea unor îmbinări rapide cît și pentru cazurile în care temperaturile la care se execută îmbinările sînt mai scăzute de 20°C, piesele pot fi imediat încălzite după aplicarea rășinii adezive.

În timpul perioadei de întărire este cu desăvîrșire interzisă mișcarea relativă a pieselor deoarece prin aceasta se inhibă procesul de întărire.

Puterea de lipire a rășinii, măsurată prin momentul de rupere depinde de suprafața de montaj pe care s-a aplicat rășina și în special de raportul lungime-diametru, *L/D*. Utilizînd curbele din fig. 11.15 [22] se poate calcula, în prealabil, în funcție de dimensiunile constructive ale pieselor ce urmează a fi asamblate, momentul de rupere maxim la care poate rezista îmbinarea.

Acest lucru este deosebit de important în cazurile în care, tehnologic (lucrul la presiune) se impune o anumită performanță de etanșare.

La îmbinarea unor materiale de natură diferită (de exemplu bolțuri de oțel într-o carcasă de aluminiu) trebuie să se țină seama, la tempe-

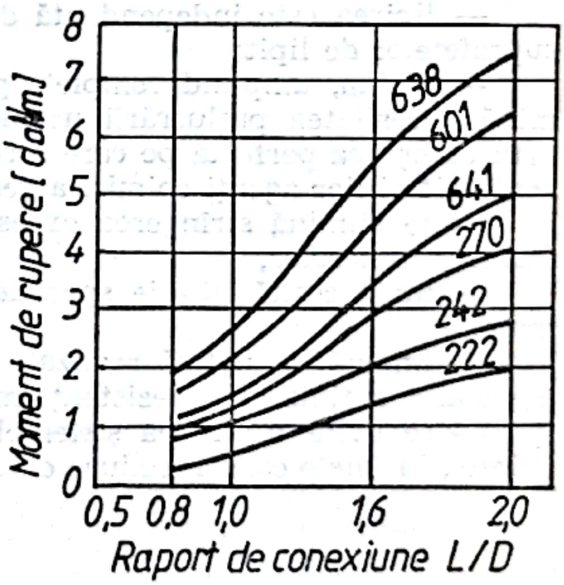


Fig. 11.15. Variația momentului de rupere în funcție de raportul de conexiune *L/D* pentru diferite tipuri de rășini adezive din seria „Loctite" (valorile au fost determinate pe un ansamblu șurub-piuliță de M 10 din oțel normal, la temperatura de 25°C).

raturi de regim de peste 50°C, de coeficienții de dilatare termică diferiți. Aluminiul, de exemplu, se dilată de două ori mai mult decît oțelul.

În cazurile în care în zona de montaj adezivul poate intra în contact cu alte materiale decît cele frecvent utilizate (metale, materiale sinterizate, ceramică, sticlă etc.) trebuie avut în vedere că policlorura de vinil, policarbonatul, polistirenul, elastomerii de tip ABS, produsele SAN

Scanned with OKEN Scanner

și suprafețele lăcuite pot fi atacate cînd sînt expuse timp mai îndelungat acțiunii adezivilor anaerobi. De remarcat faptul că stratul de adeziv întărit se comportă neutru din punct de vedere chimic.

Piesele îmbinate cu adezivi anaerobi pot fi demontate cu ajutorul sculelor obișnuite, prin demontare rupîndu-se stratul de adeziv întărit. Elementele îmbinate, cu rezistență mare, pot fi însă demontate numai după o prealabilă încălzire a îmbinării la cca 200—250°C. În acest caz piesele respective trebuie demontate la aceste temperaturi, deoarece prin răcire dificultățile de desprindere reapar. Înmuierea stratului de adeziv în scopul ușurării demontării prin utilizare de solvenți nu este posibilă datorită reticulării adezivului în timpul procesului de întărire.

Înainte de o nouă montare este necesară îndepărtarea resturilor de adeziv aderent pe suprafețele dezasamblate, care de regulă se execută cel mai bine prin mijloace mecanice.

Protecția muncii la folosirea adezivilor anaerobi. Adezivii anaerobi pe bază de esteri metacrilici nu prezintă acțiune toxică deosebită. Un contact excesiv cu pielea poate să producă în mod trecător o iritație a acesteia la persoanele la care există o predispoziție la alergii. În aceste cazuri pielea se va spăla după ce a venit în contact cu adezivul. Trebuie evitată însă ingerarea produsului. Pentru eliminarea oricăror posibilități de contaminare a pielii este preferabilă utilizarea dispozitivelor de aplicare amintite în capitolele anterioare.

Concluzii. Din cele prezentate, reiese, în mod evident, că aplicarea rășinilor adezive anaerobe constituie o soluție practică și ușoară de realizare a unei game largi de îmbinări, îmbunătățind metodele clasice și asigurînd, totodată, o serie de avantaje importante, prin care:

— lipirea este independentă de jocul dintre piese și de interferența suprafețelor de lipit;

— rășina, umplînd complet spațiile dintre suprafețele de lipit, elimină necesitatea prelucrării uzuale a suprafețelor, prevenind, totodată, prin etanșarea perfectă pe care o realizează, coroziunea implicată de prezența diferiților agenți chimici agresivi;

— se elimină strîngerea excesivă a elementelor de îmbinare și deformare a pieselor;

— nu necesită utilaje speciale, aplicarea rășinii putîndu-se efectua manual;

— îmbinările pot fi realizate pe orice suprafață, indiferent de dimensiune, obținîndu-se rezistențe mari la șocuri și vibrații;

— se evită utilizarea sistemelor de siguranță obișnuite și se înlocuiește, în unele cazuri, sudura clasică.

BIBLIOGRAFIE

1. GERHART, H. L. Patent S.U.A. 2.493.343 (1950).
2. E.I. du Pont de Nemour Co. Patent Br. 573.175 (1945).
3. BURNETT, R. F., NORDLANDER B. W. Patent S.U.A. 2.628.178 (1853).

Scanned with OKEN Scanner

4. KRIEBLE, V. K. Patent S.U.A. 2.895.950 (1959).
5. NISSAN, J. S. Patent S.U.A. 3.639.459 (1972).
6. DIMONIE, M., OPRESCU, CR. și HUBCĂ, GH. Br. Rom. 95.767 (1980).
7. DIMONIE, M., OPRESCU, CR. și HUBCĂ, GH. Br. Rom. 95.768 (1980).
8. BERLIN, A. A., POPOVA, G. L. și ISAEVA, E. F.. Visokomol, Soed 1(7), 951 (1979).
9. HUBCA, GH. Teză de doctorat. I.P.B. (1980).
10. HUBCA, GH., OPRESCU CR., TOMESCU MARGARETA și DIMONIE, M. În: Rev. Roumaine Chim. 26(8), 1185 (1981).
11. HUBCA, GH., RACOȚI, D., OPRESCU, CR. și DIMONIE, M. În: Rev. Roumaine Chim. 26(9—10), 1327 (1981).
12. HUBCA, GH., OPRESCU, CR. și DIMONIE, M. În: Rev. Roumaine Chim. 26(11—12), 1493 (1921).
13. HUBCA, GH., OPRESCU, CR., DRĂGAN, GH. și DIMONIE, M. În: Rev. Roumaine Chim. 27(3), 433 (1982).
14. HUBCA, GH., OPRESCU, CR., CARAGHEORGHEOPOL, AGNETA, CĂLDĂRARU, H., RACOȚI, D. și DIMONIE, M. În: Rev. Roumaine, 27(5), 659 (1982).
15. HUBCA, GH., GHEORGHIU M., OPRESCU, CR. și DIMONIE, M. În: Rev. Roumaine Chim. 28(2), 185 (1983).
16. OPRESCU, CR. și ROȘESCU, R. În: Mat. Plastice 11(4), 182 (1974).
17. WEISS, K. K. Br. Fr. 1500584 (1977).
18. LESS, W. A., FORD, C. Y. și GWOSE, U. R. Patent S.U.A. 3.419.512 (1968).
19. * * * Locquic Activator Information T. 1977.
20. * * * Locking Studs Chemicall — „Loctite Information" 1980.
21. * * * Selector Chart for Loctite products 1978.
22. OPRESCU, CR. și ROȘESCU R. În: Mat. Plastice 11(6), 285, 1974.

Scanned with OKEN Scanner

12
Materiale metalice rezistente la uzare*)

L. I. Kuksenova
L. I. Kuksenov

În prezent, în construcția de mașini se observă tendința de creștere importantă a indicatorilor de cantitate, calitate și economici. Indicatorul de bază al calității mașinilor este durabilitatea lor, care, după cum se știe, se limitează la durabilitatea pieselor în frecare și, ca urmare, la stabilitatea la uzare a materialelor, la caracteristicile lor tribotehnice.

Problema frecării și uzării în etapa actuală presupune răspunsuri la cel puțin trei întrebări, care au importanță teoretică și practică excepțională. Acestea sînt mecanica interacțiunii de contact, procesele chimice în zona frecării și fizica proceselor de disipare prin suprafața de separare a microvolumelor. Aceste probleme determină *căile de creștere a durabilității pieselor la frecare,* care în prezent au trei direcții de bază: *constructiv-tehnologice,* la care, alături de noile rezolvări constructive privind rezistența, mare atenție se acordă tehnologiei de obținere a pieselor; *fizico-chimice*, dirijate spre obținerea de noi materiale de ungere și perfecționarea celor existente; *știința materialelor,* chemată să fundamenteze științific rezolvarea problemei alegerii și creării de materiale pentru piesele în frecare.

Tendințele actuale de dezvoltare a științei și tehnicii conduc la creșterea intensă a încărcărilor ansamblurilor în frecare, a vitezei relative și temperaturii zonelor în contact ale acestora, ceea ce, în general, complică condițiile de exploatare a mașinilor. În legătură cu aceasta, rolul de dirijori ai rezolvării problemei rezistenței la uzare a materialelor revine cercetătorilor de materiale.

În prezent, cercetătorii de materiale au acumulat date experimentale asupra legilor deformării plastice, difuziei și schimburilor de masă în suprafețele de separare a microvolumelor, care au permis să se formuleze cîteva principii de alegere a materialelor cuplurilor în frecare. În legătură cu aceasta sînt luate în atenție cerințele geometrice, constructive, de exploatare, economice și tehnologice ce se impun materialelor. Atenție deosebită se acordă condițiilor de solicitare a ansamblurilor în frecare (viteză, presiune, temperatură) și caracteristicilor mediului înconjurător. Aceasta se explică prin aceea că prin frecarea corpurilor metalice în con-

* Traducere prelucrată de prof. dr. ing. Laurentie Sofroni și ing. Paul Iordănescu după articolul publicat în revista Vestnik Mașinostroenia, nr. 5, 1985, pag. 55—62.

Scanned with OKEN Scanner

diţii de ungere au loc schimbări radicale în substructură şi microstructură şi în compoziţia fazică a zonei deformate; materialele în zona straturilor superficiale, în condiţii de solicitări dinamice sînt caracterizate mai complet de frecarea internă decît de frecarea corpurilor în contact în ansamblul lor.

Totuşi, evaluînd tendinţa în crearea sistemelor metalice actuale rezistente la uzare, trebuie amintit că există *neconcordanţă* între *concluziile* reieşite din *cercetările* experimentale, care permit să se formuleze cerinţele privind materialul şi compoziţia şi proprietăţile acestuia obţinute ca rezultat al prelucrării concrete. Aceasta se poate explica prin următoarele *cauze:* condiţiile foarte grele de lucru ale construcţiei maşinilor, adesea necorespunzînd cu cele în care s-au cercetat noile materiale; absenţa unei metode unice de apreciere a caracteristicilor tribotehnice ale materialului; schimbul insuficient de informaţii între specialiştii din cercetare privind noile materiale şi tehnologia lor de prelucrare şi între tehnologi şi constructori; necunoaşterea principiilor ştiinţifice de bază în obţinerea de noi materiale şi de construcţie a pieselor, în special în ceea ce priveşte schimbarea proprietăţilor materialelor în stratul superficial, de contact.

În afară de aceasta, la crearea şi exploatarea noilor materiale apar o serie de greutăţi legate mai întîi de toate de necesitatea de economisire a resurselor de materii prime şi de scădere a costului maşinilor. La prima vedere aceste probleme prin sine exclud larga utilizare a noilor realizări în domeniul materialelor metalice, în compoziţia cărora nu rar intră adaosuri de aliere scumpe şi deficitare. Dar dacă se ia în considerare că în prezent constructorii de maşini lucrează cu materiale de bază tradiţionale, care, neluînd în seamă caracteristicile generale pozitive cunoscute, încetează să satisfacă cerinţele progresului tehnic, iar metodele tehnologice actuale prin care se acţionează asupra suprafeţelor pieselor nu rezolvă toate problemele practice, atunci utilizarea noilor materiale creează premize reale pentru realizarea de piese de înaltă eficacitate la frecare. E cunoscut că în prezent a devenit extraordinar de mare proporţia lucrărilor de *recondiţionare* legate în special de reducerea uzării suprafeţelor; volumul lucrărilor de reparare în construcţia de maşini reprezintă în prezent în medie 60 ... 80% din producţia de bază. Toate acestea necesită un consum mare de materiale. De aceea, neluînd în seamă dificultăţile naturale, la o privire generală în viitor în ramurile de bază ale construcţiei de maşini noile materiale trebuie să ocupe un loc important în rezolvarea problemei esenţiale a creşterii duratei de lucru şi funcţionabilităţii maşinilor. Creşterea durabilităţii maşinilor prin utilizarea de noi materiale permite de asemenea să se rezolve nu numai sarcina de reducere a costului pieselor dar şi aceea de folosire raţională a acestora în scopul micşorării continue a consumului de materiale metalice.

Metalele au fost şi rămîn materialele de bază pentru ansamblurile în frecare. Aceasta este legat de faptul că într-adevăr ele satisfac condiţiile de exploatare a maşinilor şi mecanismelor. Diferite metale şi aliaje au proprietăţi importante pentru construcţii, ca rezistenţă şi plasticitate, posibilitatea de atingere în îmbinări a unor proprietăţi optime ale materialelor în suprafaţa şi în volumul pieselor, capacitatea de a forma combinaţii diferite ca natură şi proprietăţi între metale şi nemetale.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 12.1

Oţeluri

Compoziţia, în %, şi numărul documentului de protecţie	Caracteristici şi domenii de utilizare
1	2
0,43 ... 0,98 Ti; 0,16 ... 0,38 Cr; 0,15 ... 0,35 Mn; 0,11 ... 0,3 Si; 0,73 ... 0,88 C Brevet 962329 (U.R.S.S.)	Pentru piese de maşini agricole (plug, grapă) ce lucrează în condiţii de uzare abrazivă intensă
0,01 ... 0,08 PR; 0,01—0,07 N; 0,01 ... 0,2 Nb; 0,01 ... 0,2 Al; 0,02 ... 0,3 V; 0,05 ... 0,3 Mo; 0,2 ... 0,7 Cr; 9 ... 15,5 Mn; 0,3 ... 0,7 Si; 0,9 ... 1,5 C Brevet 912770 (U.R.S.S.)	Are caracteristici mecanice înalte şi stabilitate la şoc abraziv
0,2 ... 0,3 Nb; 0,8 ... 1,2 Mo; 0,3 ... 0,6 Cu; 0,1 ... 0,3 Ti (sau B); 10 ... 14 Cr; 0,5 .... 0,8 Mn; 0,8 ... 1,5 Si; 2 ... 2,5 C Brevet 933782 (U.R.S.S.)	Pentru piese ce lucrează în condiţii de uzare la jet abraziv
0,01 ... 0,025 S; 0,4 ... 0,8 P; 0,6 ... 0,8 Mo; 6 ... 7 Cr; 0,5 ... 0,7 Mn; 1,2 ... 1,4 Si; 1,1 ... 1,2 C. Brevet 192807 (R. S. Cehoslovacă)	Piese rezistente la şoc şi uzare abrazive; pentru paletele amestecătoarelor de beton, cărbune sau pentru cupe
1,5 ... 3,5 W; 0,08 ... 0,3 V; 0,8 ... 1,5 Cr; 0,3 ... 0,6 Mn; 0,4 ... 1,2 Si; 0,4 ... 0,7 C; Brevet 57-19360 (Japonia)	Rezistenţă la lucru în pământ şi nisip; pentru dinţii cupelor excavatoarelor
0,01 ... 0,04 PR (Ce); 0,01 ... 0,05 Al; 0,01 ... 0,2 V; 0,5 ... 0,9 Cr; 0,7 ... 0,05 Mn; 0,2 ... 0,4 Si; 0,7 ... 1 C Brevet 969776 (U.R.S.S.)	Are durabilitate la contact ridicată; se recomandă pentru executarea şinelor
$\leqslant$0,05 S; $\leqslant$0,05 P; $\leqslant$0,5 Ni; 0,3 ... 0,6 Cr; 0,6 ... 1,1 Mn; $\leqslant$0,45 Si; 0,48 ... 0,64 C Pat. 436772 (S.U.A.)	Are înaltă rezistenţă la şoc termic; pentru roţi de cale ferată
0,2 ... 0,7 Cr; 0,6 ... 1,2 Mn; 0,4 ... 1,2 Si; 0,55 ... 0,8 C. Brevet 57-143465 (Japonia)	Are înaltă rezistenţă la uzare abrazivă; pentru roţi de cale ferată
4 ... 65% Sn; 0,3 ... 5 Mo; <5 Ni; 1,5 ... 4 Si; 0,8 ... 4 C Pat. 57-2783 (Japonia)	Pulberi sinterizate pentru ansambluri în frecare de alunecare; aliaj care se autounge

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 12.1 (continuare)

1	2
0,2 ... 1,2 P; 0,6 ... 2 Sn; 1 ... 3 Cu; 0,15 ... 0,9 Mn; 0,1 ... 0,3 C Brevet 905313 (U.R.S.S.)	Material antifricțiune sinterizat cu înaltă rezistență la uzare pentru lucru cu și fără ungere
0,5 ... 10 Sn (sau Pb, Sb, P); 0,1 ... 5 Mo; 0,5 ... 0,8 Cu; 0,1 ... 4 Ni; 0,5 ... 10 TiS_2; 0,1 ... 0,5 Cr; 0,7 ... 4 C Pat. 56-35743 (Japonia)	Material cu autoungere, cu înalte rezistență și reziliență
<0,035 S; <0,035 P; 0,1 ... 0,25 Mo; 1,1 ... 1,6 Mn; 0,4 ... 0,7 Si; 0,22 ... 0,28 C; Pat. 116268 (R. P. Polonă)	Oțel sudabil rezistent la uzare, pentru executarea tablelor cu grosimea g=8 ... 30 mm, folosit în construcțiile sudate

Analiza datelor literaturii tehnice din ultimii ani atestă munca intensă a cercetătorilor din diferite țări în domeniul creării de noi materiale rezistente la uzare. Cu toate că se pare că creșterea caracteristicilor tribotehnice ale sistemelor metalice tradiționale ar înceta, seria noilor produse pe bază de oțel, fonte, aliaje de cupru, de aluminiu și de alte aliaje cu diferite adaosuri de aliere nu încetează să crească. Ca exemplu, în tabelul 12.1 sînt date compoziții tipice de oțeluri rezistente la uzare, cu stabilitate mare la uzare abrazivă, abrazivă cu șoc și la alte tipuri de uzare.

Aceste oțeluri, obligatoriu cu Cr, Mn, Si, dar și cu conținuturi mici de adaosuri de diferite elemente, printre care cele ce formează carburi, ca Ti, V, Nb, Mo și pămînturile rare, au ridicate caracteristici de exploatare. Mare interes prezintă oțelul cu autoungere, care conține cupru (pînă la 8%) și unul sau mai multe elemente (cu T_{top} joasă) ce interacționează cu cuprul, care coboară temperatura lui de topire și crește procentul de carbon liber. Astfel de elemente sînt Sb, Pb, P, Sn (0,5 ... 10%).

Atrage atenția numărul mare de piese din *oțeluri de scule* rezistente la uzare. Sînt studiate în detaliu problemele de îmbunătățire a caracteristicilor de exploatare a oțelurilor prin diferite grade de aliere. Sînt cercetate caracteristicile oțelurilor cu W (pînă la 18%), W—Mo (6% W 5% Mo) și Mo (pînă la 9%) și de asemenea ale grupelor analoage de oțeluri cu Co (pînă la 12%). Se propun oțelurile cu conținut ridicat de V (5%) și C (>0,7 ... 0,9%). Răspîndite sînt oțelurile cu 6% W și 5% Mo (80% din volumul producției de oțeluri rapide în țările Europei). Din analiza literaturii de peste hotarele U.R.S.S. reiese tendința de trecere de la oțelurile cu W la oțelurile cu Mo. Larga utilizare a oțelurilor cu Mo se explică prin costul (de 1,5 ... 2 ori) mai mic al acestora în raport cu cele cu W. Pentru prelucrarea materialelor ultrarezistente s-au elaborat oțeluri rapide aliate cu Co (superoțeluri), cu conținut înalt de carbon.

Scanned with OKEN Scanner

În U.R.S.S. atenţie mare se acordă elaborării, asimilării şi introducerii în economia naţională a noilor materiale de scule de înaltă eficienţă ce nu conţin W şi Co.

Pentru creşterea caracteristicilor de durabilitate ale ansamblurilor în frecare fără ungere, în condiţii de temperaturi şi presiuni înalte, s-au elaborat oţeluri cu grafit [Brevet 1030416 U.R.S.S.]. Pentru construcţiile sudate s-au elaborat oţeluri speciale rezistente la uzare (v. tabelul 12.1), care posedă înaltă rezilienţă la temperaturi joase [patent 57-894261 (Japonia)]. Sînt cunoscute multe oţeluri anticorosive [patent 58-22362 (Japonia)] rezistente la variaţii ciclice de temperatură, stabile la formarea crăpăturilor [Brevet 924159 (U.R.S.S.)], cu înaltă tehnologicitate. [Brevet 834214 (U.R.S.S.)]. Se oferă oţeluri speciale [brevet 57-19364 (Japonia)] pentru elementele fixe ale reactorilor nucleari; s-a elaborat un oţel rezistent la uzare [brevet 57-188647 (Japonia)] pentru executarea ţevilor care transportă pulpă. Acestea din urmă se execută astfel încît stratul exterior (0,1 din grosimea ţevii) al lor, să aibă duritate înaltă iar restul — duritate joasă şi rezervă suficientă de plasticitate şi rezilienţă. În locul bronzurilor şi babbiturilor deficitare s-a elaborat un oţel rezistent la uzare folosit la lagărele cu alunecare, transmisiile melcate, pistonul şi cilindrul pompelor de injecţie [Brevet 865961 (U.R.S.S.)]. Acest oţel conţine 1,4 ... 1,8% Ni şi 0,8 ... 1,2% Cu, ceea ce a dat posibilitatea să se evite tratamentul termic al oţelului turnat, care de obicei conduce la scăderea bruscă a proprietăţilor antifricţiune ale acestuia.

În ultimii cîţiva ani în U.R.S.S. şi peste hotare se intensifică eforturile pentru obţinerea de fonte rezistente la uzare pentru diferite condiţii de exploatare. Noile compoziţii de fonte se deosebesc de cele obişnuite prin conţinutul de elemente (pînă la 1, rar pînă la 2%) care îmbunătăţesc caracteristicile de exploatare. Diferite fonte utilizate în practică sînt clar prezentate în tabelul 12.2.

În compoziţia noilor fonte sînt cuprinse zecimi sau sutimi de % de elemente deficitare ca Sb, Mg, Zr, Y şi pămînturi rare. Adaosuri mici, de ex. de pămînturi rare, determină creşterea rezistenţei la şoc, ceea ce e important la fontele utilizate pentru piesele cu care se execută măcinarea la mori; modificarea cu ytriu permite obţinerea la piesele turnate de caracteristici înalte de rezistenţă şi plasticitate (∅60 ... 100 mm). Prin rezistenţă înaltă se disting în special fontele cu B şi V. Fonta cu conţinut ridicat de crom (~10% Cr), cu adaos, în %, de Y (0,05 ... 0,5), de Mg (0,005 ... 0,015) şi Al (0,2 ... 0,4) se recomandă în condiţii de lucru cu particule abrazive şi la acţiunea simultană a unui mediu corosiv. Fonta antifricţiune aliată cu Al are mare rezistenţă la fisurare şi la uzare, în condiţii de viteze periferice şi presiuni înalte. S-au obţinut fonte cu înaltă rezistenţă la uzare nemagnetice şi cu modul de elasticitate micşorat. Multe compoziţii de fonte se deosebesc de cele cunoscute prin înalte caracteristici de turnare şi de rezistenţă la coroziune prin oboseală.

Din păcate în literatura tehnică sînt puţine informaţii asupra noilor materiale, în care să se precizeze pe larg rezultatele cercetărilor asupra structurii şi proprietăţilor de bază, în special influenţa diferiţilor componenţi ai aliajului asupra structurii şi proprietăţilor mecanice şi de exploatare. În continuare se menţionează cîteva lucrări care tratează pe larg aceste detalii. De ex. Vorovieva E. L. ş.a. în lucrarea „Elaborarea fon-

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 12.2

Fonte

Compoziția fontei, %, și documentul protector	Caracteristici și domenii de utilizare
1	2
0,02 ... 0,03 B; 0,12 ... 0,22 Ni; 0,1 ... 0,4 Cu; 0,03 ... 0,08 Ti; 0,6 ... 1 Cr; 3,5 ... 4 Mn; 1,3 ... 1,6 Si; 3—3,6 C Brevet 1014965 (U.R.S.S.)	Pentru piese turnate de palete, sectorul blindat al amestecătoarelor care lucrează în condiții de uzare la șoc abraziv
0,25 ... 0,5 V; 0,3 ... 1,1 Ti; 0,2 ... 1,1 Cr; 0,5 ... 2 Mn; 0,8 ... 3 Si; 0,65 ... 4,5 C Brevet 1014956 (U.R.S.S.)	Pentru cilindri și bile de mărunțire la morile de ciment și minereu, ce lucrează la temperaturi și presiuni înalte
0,1 ... 0,7 V; 0,01 ... 0,15 B; 0,01 ... 0,5 Ni; 0,1 ... 0,3 Cu; 0,01 ... 0,5 Ti; 0,05 ... 0,4 Cr; 1 ... 1,5 Mn; 1,5 ... 2,2 Si; 2,5 ... 3,5 C Brevet 986955 (U.R.S.S.)	Pentru cilindrii de frînare de la automobile și tractoare
0,01 ... 0,08 Sb; 0,01 ... 0,1 Al; 0,5 ... 1 Mn; 3,2 ... 4,4 Si; 2 ... 2,6 C Brevet 956595 (U.R.S.S.)	Are rezistență la fisurare în condiții de viteze periferice și presiuni înalte; pentru piese de rotoare
0,8 ... 1,2 Al; 0,5 ... 1,5 Ni; 1 ... 3,5 Cu; 0,1 ... 1 Cr; 8 ... 12 Mn; 2 ... 3 Si; 3 ... 4 C Brevet 1016391 (U.R.S.S.)	Are înaltă rezistență la uzare în condițiile păstrării magnetismului și la tăiere; pentru cămăși de cilindru.
0,005 ... 0,015 Mg; 0,05 ... 0,5 Y; 0,2 ... 0,4 Al; 9 ... 11 Cr; 0,4 ... 0,9 Mn; 2,5 ... 4,2 Si; 3,5 ... 4,5 C Brevet 952985 (U.R.S.S.)	Pentru instalații de fabricare a hîrtiei care lucrează în mediu corosiv în condiții de uzare abrazivă
0,03 ... 0,08 PR (Ce); 0,02 ... 0,07 Sr; 0,1 ... 0,3 Zr; 0,2 ... 0,6 Cu (sau Sb, Mo) 0,1 ... 0,3 Ti; 0,8 ... 1,6 Mn; 1,6 ... 2,4 Si; 3 ... 4,2 C Brevet 973656 (U.R.S.S.)	Are înaltă rezistență la oboseală în condiții de coroziune
0,2 ... 0,8 Ti; 2,7 ... 4,3 Cr; 5 ... 9 Mn; 3,8 ... 5,2 Si; 2,8 ... 3,6 C Brevet 945218 (U.R.S.S.)	Are modul mare de elasticitate; se recomandă pentru bilele morilor cu bile
0,1 ... 0,5 V; 2 ... 2,5 Cu; 7 ... 7,8 Cr; 1 ... 1,6 Mn; 3,1 ... 3,5 Si; 2,7 ... 3,3 C Brevet 943316 (U.R.S.S.)	Are înaltă rezistență la abraziune; pentru piese de laminoare
0,1 ... 0,8 V; 6,6 ... 8,9 Cr; 0,3 ... 4 Mn; 1,2 ... 2,6 Si; 2,4 ... 3,6 C Brevet 829710 (U.R.S.S.)	Are înaltă rezistență

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 12.2 (continuare)

1	2
0,01 ... 0,12 S; 0,1 ... 0,75 P; 0,02 ... 0,205 V; 0,01 ... 0,12 B; 0,05 ... 0,5 Ni; 0,12 ... 1,23 Ti; 0,85 ... 1,6 Mn; 0,8 ... 1,2 Si; 3 ... 3,5 C Brevet 834204 (U.R.S.S.)	Are înaltă rezistență
0,03 ... 0,54 Y; ⩽0,01 S; ⩽0,052 P ⩽0,1 Ni; ⩽0,35 Cr; 0,49 ... 1,09 Mn; 1,5 ... 4 Si; 3,4 ... 3,8 C (v. Balakin, G.N. ș.a. În: Lit. proizv. nr. 4, 1982, p. 9—10)	Are înalte caracteristici mecanice și plasticitate bună
0,001 ... 0,05 PR; 0,005 ... 0,02 B; 0,005 ... 0,01 Ca; 0,001 ... 0,08 Ti; 0,03 ... 0,7 Mn; 0,3 ... 0,7 Si; 2,8 ... 3,7 C Brevet 834197 (U.R.S.S.)	Pentru executarea corpurilor de măcinare turnate
0,001 ... 0,02 PR; 0,1 ... 0,5 Al; ⩽0,2 S; 0,2 ... 0,5 P; 0,1 ... 0,5 Cu; 0,2 ... 0,8 Mn; 1,5 ... 2,4 Si; 3,2 ... 3,9 C Brevet 872589 (U.R.S.S.)	Pentru piese turnate cu pereți subțiri
0,045—0,075 Y; 1,2 ... 3,2 Ni; 20 ... 22 Cr; 0,4 ... 0,8 Mn; 0,6 ... 1 Si; 2,9 ... 3,2 C Brevet 986953 (U.R.S.S.)	Are prelucrabilitate înaltă la așchiere; pentru piese la instalații de preparare a minereurilor și metalurgice
0,4 ... 1,8 Mo; 0,02 ... 0,05 PR (Ce); 0,005 ... 0,05 Y; 0,15 ... 0,8 Al; 0,3 ... 4,85 V; 0,005 ... 0,08 B; 0,5 ... 6,5 Ni; 0,5 ... 2,2 Cu; 0,15 ... 0,65 Ti; 2,5 ... 4,8 Cr; 6,5 ... 16 Mn; 2,25 ... 3 Si; 3,2 ... 4,2 C Brevet 1013508 (U.R.S.S.)	Are rezistență înaltă la uzare datorită carburilor fine și incluziuni de grafit
⩽0,1 S; ⩽0,1 P; 0,05 ... 0,15 B; 4,2 ... 5,0 Ni; 1 ... 2 Cr; 0,6 ... 0,9 Mn; 1,4 ... 1,8 Si; 3,5 ... 3,8 C Brevet 189812 (R. S. Cehoslovacă)	Proprietăți bune de turnare; pentru paletele rotoarelor morilor, filierele preselor ceramice
0,1 ... 0,7 Mo; 0,1—0,6 V; 0,2 ... 0,8 Ni; 0,1 ... 0,6 Cr; 0,5 ... 1 Mn; 1,5 ... 2,4 Si; 2,9 ... 3,7 C Brevet 57-171646 (Japonia)	Are înaltă rezistență și bună prelucrabilitate; camele arborilor motoarelor cu ardere internă
1,1 ... 3,59 Mo; 0,32 ... 3,59 V; 0,01 B; 0,15 Ti; 6,8 ... 15,1 Cr; 0,82 ... 1,17 Mn; 0,55 ... 1,02 Si; 2,53 ... 2,75 C (v. Dumitrescu, C. ș.a. revista metalurgia, nr. 4, 35, 1983)	Are înaltă rezistență la uzare

Scanned with OKEN Scanner

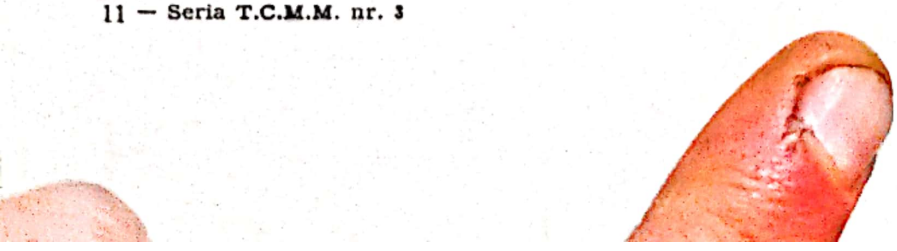
telor aliate și oțelurilor" (Sverdlowsk, 1982, p. 79—85) se tratează obținerea unui nou material de fricțiune pentru saboți de frînă, la care s-a studiat influența a pînă la 4% P asupra proprietăților fontei. A fost studiată forma incluziunilor de grafit și a aspectului rețelei de eutectic fosforos asupra rezistenței la uzare și a coeficientului de frecare al saboților. A reieșit că influența fosforului asupra procesului grafitizării se observă numai de la conținut de peste 2%. Se remarcă de asemenea că Al nu influențează asupra compoziției și structurii eutecticului fosforos. O problemă a cercetării a constituit optimizarea conținutului de C (1 ... 4,1%) și Mn (0,4 ... 8,4%) din fontele antifricțiune cu crom. S-a stabilit că % C și % Mn în fontă exercită o influență inegală asupra stabilității ei la uzare abrazivă și abrazivă cu șoc; aceasta crește cu mărirea conținutului de C și scade cu ridicarea celui de Mn. Pentru alegerea compoziției fontei pentru creuzete de topit Al s-a cercetat amănunțit influența Al lichid, a fondantului, a atmosferei cuptorului asupra structurii, a pierderilor de masă și a proprietăților mecanice ale fontelor speciale (în special ale celor cu Al). S-a dovedit că înaltă stabilitate au fontele Al-Cr cu următoarea compoziție (%): 3,3 C; 6 Al; 1,2 Cr; 2 Si; 0,8 Mn; 1 Ni; 0,35 Ti.

În ce privesc caracteristicile tribotehnice prezintă interes fontele cu 3 ... 10% Cu.

Materiale cu largă răspîndire pentru executarea în special de contacte electrice, transmisii dințate, lagăre cu mare încărcare (pentru laminoare, excavatoare) sînt aliajele de cupru. Ele se utilizează pentru țevi, condensatoare, evaporatoare, schimbătoare de căldură ș.a., cărora li se cere înaltă rezistență la coroziune și de asemenea pentru piese supuse la uzare corosivă. În prezent se observă creșterea intensă a producției de aliaje Cu-Zn. După date din S.U.A. ar exista aproape 900 mărci de asemenea aliaje. Dintre acestea sistemele Cu-Zn-Pb și Cu-Zn-Sn s-au impus mai mult prin cele 300, respectiv 400 mărci. În tabelul 12.3 sînt date compoziții de bronzuri și alame cu înaltă rezistență la uzare și domeniile lor de utilizare. Din tabelul 12.3 rezultă că aceste aliaje au la bază mulți componenți sub forma solubilă de soluții solide în componentul de bază și insolubilă. Se remarcă tendința de promovare a bronzurilor economice Ni-Al, Mn-Ni-Al, avînd în vedere că staniul este scump (de 15 ori în raport cu Zn și Pb și de 7 ori față de Cu).

Analiza compozițiilor cercetate atestă o influență determinată a Bi asupra rezistenței acestora la coroziune sub tensiune. Sînt date care atestă creșterea în mare măsură a rezistenței la uzare a compozițiilor cu grafit nodular sau lamelar dispers, răspîndit în masa metalică de bază. Pentru creșterea rezistenței la uzare a noilor aliaje se propune ca în aliajele de Cu să se adauge pămînturi rare (La, Ce) în proporție de 0,2 ... 2%.

În tabelul 12.4 sînt date cele mai tipice *aliaje antifricțiune pe bază de Al*. Din acest tabel reiese că componenții de bază ai aliajelor de Al sînt Sn (pînă la 40%), Si (pînă la 20%), Cu, Sb, Pb (~pînă la 10%) și în afară de acestea mici adaosuri de alte elemente. Se știe că Si crește rezistența la uzare iar Sn (de obicei la limita grăunților) contribuie la finisarea grăunților. Se amintește că cuprul mărește rezistența la uzare abrazivă, contribuind la durificarea dispersă a aliajului, Mn — rezistența la coroziune, Mg — rezistența la temperaturi înalte, Ti și Zr — mărunțirea eficace a grăunților. Antimoniul contribuie la separarea fină și uni-



Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 12.3

Aliaje de cupru

Compoziția, în %, și numărul documentului de protecție	Caracteristici și domenii de utilizare
1	2
5—25 Mo Brevet 58-223461 (Japonia)	Contacte electrice pentru comutatoare (întrerupătoare) electrice
5—25 Re Brevet 58-22344	Contacte electrice
0,02—0,35 As; ⩽0,1 Fe; 0,1 Pb; 5—6,5 Al	Stabil în atmosferă corosivă de acizi (sulfuric, clorhidric, fosforic); pentru executarea tuburilor, condensatoarelor, evaporatoarelor, schimbătoarelor de căldură
0,5—2 PR; 1—10 grafit; 0,1—1 P; 0,1—2 Ti; 0,5—5 Si; 0,1—2 Sn; 0,1—20 Pb (sau Bi); 6—16 Zn. Brevet 57-73148 (Japonia)	Stabil la coroziune sub sarcină
0,5—2 PR; 1—10 grafit; 0,05—1 P; 0,1—20 Bi; 0,1—2 Ti; 9—15 Sn Brevet 57-73147 (Japonia)	Pentru executarea roților dințate (pinioane), lagărelor, care lucrează la viteze periferice înalte
1—10 grafit; 0,1—2 Ti; 0,1—6 Ni; 0,1—15 Mn; 1—6 Fe; 0,1—2 Sn; 0,1—20 Pb (sau Bi); 6—12 Al; Brevet 57-73146 (Japonia)	Are înalte proprietăți de ungere și rezistență la uzare
Particule de grafit dispers în topitură 10—45 Mn Brevet 54-45601 (Japonia)	Pentru piese de mașini care funcționează în condiții de uzare intensă
9—14 Mn; 2—4 Fe; 0,2—5 Pb; 4—6 Al; 5,5—15 Zn Patent 1054550 (R.D.G.)	Are bune proprietăți de turnare și înaltă rezistență la uzare sub sarcini mari; pentru lagăre de sarcini mari ale laminoarelor, excavatoarelor ș.a.
0,5—4 Ni; 1—5 Mn; 0,2—1,5 Si; 0,1—2 Fe; 0,2—2 Sn; 0,2—1,5 Pb; 1—5 Al; 54—66 Cu; rest Zn Brevet 56-163231 (Japonia)	Pentru piese ce funcționează în condiții de sarcină grea ce se schimbă rapid, ca de ex. prelucrarea prin așchiere
1—10 grafit; 0,1—1 P; 0,1—20 Bi; 0,1—2 Ti; 60—88 Cu; rest Zn Brevet 57-73149 (Japonia)	Pentru ansambluri în frecare cu alunecare

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 12.3 (continuare)

1	2
0,5—2 PR; 1—10 grafit; 0,1—1 P; 0,1—2 Ti; 0,5—2 Cr; 0,1—1 Ni; 0,1—5 Mn; 0,5—2 Si; 0,5—4 Fe; 0,1—2 Sn; 0,1—20 Pb; 0,5—7,5 Al; 55—83 Cu; rest Zn Brevet 57-70247 (Japonia)	Pentru contacte în frecare, ca de ex. perii colectoare
0,01—0,2 Cr; 0,5—5 Ni; 0,75—7,5 Mn; 0,25—2,5 Si; 0,1—2 Sn; 2—5 Al; 20—40 Zn Brevet 57-114632 (Japonia)	Pentru suprafețele în frecare ale sincronizatoarelor automobilelor
1—10 grafit; 0,1—2 P; 0,1—20 Bi; 0,1—2 Ti; 0,1—1 Ni; 0,1—5 Mn; 0,5—4 Fe; 0,1—2 Sn; 0,5—7,5 Al; 55—83 Cu; rest Zn Brevet 57-73150 (Japonia)	Are înaltă rezistență la uzare abrazivă
0,02—0,5 P; 0,5—4 Ni; 1—5 Fe; 0,1—2 Pb; 2—7 Al; 25—37 Zn Brevet 57-123945 (Japonia)	Se caracterizează prin înaltă rezistență la uzare abrazivă
0,5—4 Ni; 1—5 Mn; 0,2—1,5 Si; 0,1—2 Fe; 0,2—2 Sn; 1—5 Al; 54—66 Cu; rest Zn Brevet 56-133443 (Japonia)	Pentru angrenaje la care una dintre roți este din fontă

formă a Sn și Pb. În aliaj rezultă compus Sn-Pb-Sb cu T_{top} relativ înaltă și duritate mai mare, iar excesul de Sb dă naștere la compuși foarte duri Al-Sb, Al-Sb-Si și alți compuși, care contribuie la creșterea rezistenței la uzare.

Materialele compozite antifricțiune pe bază de Al conțin cristale sub formă de pulberi sau filiforme de grafit, cu rol de unsoare solidă la frecare, iar pentru durificare fibre de Al_2O_3 sau de oțel. Pentru rezolvarea multor sarcini practice prezintă interes compozitele turnate din Al și particule de Al_2O_3 și de asemenea materialele în care s-a realizat înlocuirea, în aliajele de Al, a Si cu Al_2O_3 cu rezistență înaltă la uzare. Proprietatea de bază a aliajelor Al este densitatea lor mică, care ajută la micșorarea greutății pieselor mașinilor. În afară de aceasta, caracteristicile înalte de rezistență mecanică și rezistență la uzare a compozitelor de Al permite înlocuirea oțelurilor și fontelor, de ex. pentru piese de automobil.

Antany K. C., în revista Journal of Metals nr. 2, v. 35, p. 52—60 din anul 1983 arată că a elaborat un aliaj rezistent la uzare pe bază de Co (50 . . . 60%) cu înaltă rezistență la coroziune și la uzare. Carburile de Cr, dispersate în masa metalică de bază, imprimă aliajului duritate, ce se menține pînă la 800°C, efectul depinzînd de cantitatea și morfologia carburilor. Rezistența la uzare adezivă, prin cavitație și erozivă, depinde de tensiunea care apare la transformarea rețelei hc→h simplu,

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 12.4

Elemente de aliere, în %, și numărul brevetului	Conținutul obligatoriu al unui element, %	Caracteristica și domeniul de utilizare
0,1—3 Si; 0,2—5 Cu; 0,1—3 Sb; 0,1—10 Pb; 3—4 Sn Brevet 58-6955 (Japonia)	Mn, V, Cr, Ti, Mg, Nb (0,01—3)	Pentru cuzineții motoarelor cu ardere internă
0,1—3 Cu (sau Mg); 0,1—3 Sb; 0,1—5 Pb; 3—40 Sn Brevet 57-164952 (Japonia)	Si, Ni, Mn, Fe, Zr, Mo, Co, V, Nb (3—10)	Idem
2—10 Si; 3—10 Sb; 0,1—9 Pb; 3—40 Sn Brevet 57-18641 (Japonia)	Ni, Mn, Ti, Fe, Zr, Mo, Co, V, Nb (pînă la 10)	Idem
0,2—10 Si; 3—10 Sb; 0,1—9 Pb; 3—40 Sn Brevet 57-188642 (Japonia)	Ni, Mn, Ti, Fe, Mo, Co, V, Nb ($\leqslant$10)	Idem
0,1—3 Cu (sau Mg); 3—10 Sb; 0,1—9 Pb; 3—40 Sn; Brevet 57-188640 (Japonia)	Si, Ni, Mn, Ti, Fe, Zr, Mo, Co, V, Nb (0,2—10)	Idem
5—8 Si; 1,5—3,5 Cu; 1—5,5 Sn Brevet 56-93849 (Japonia)	Mn (0,2—1,5); Mg (0,5—1,5); Ti (0,01—0,2); B (0,002—0,4); B+Ti ($<$0,2)	Stabil la uzare abrazivă
$\leqslant$0,3 Fe; 0,2—1 Mo; 0,2—1 Mn; $<$0,85 Si; 8—15 Cu Brevet 57-114635 (Japonia)	Ti, Zr (0,01—0,1)	Idem
$\leqslant$0,8 Mo; 12—20 Si; 0,5—6 Cu Brevet 57-101641 (Japonia)	—	Idem
1—2,5 Ni; $<$0,5 Fe; 0,5—2 Mo; $<$0,5 Mn; 18—25 Si; 0,5—4 Cu Brevet 57-98647 (Japonia)	Incluziuni de grafit, MoS_2 și (sau) WS_2 ($<$10), în calitate de unsoare solidă și de asemenea particule de compuși Al_2O_3, ZrO_2, MgO, SiO_2, Y_2O_3, SiC, WC, B_4C, TiC, Si_3N_4, BN, TiN, AlN, ZrB_2, N_2B, NbB și (sau) AlB_2	Permite micșorarea masei blocului cilindrilor motoarelor de automobil
0,4—0,8 Cr; 1,5—2 Ni; $\leqslant$1 Fe; 0,3—0,7 Mo; 13,5—20 Si; 4—5 Cu Brevet 56-146845 (Japonia)	Se recomandă modificarea aliajului cu fosfor	Pentru înlocuirea oțelului și fontei în piesele de automobil

Scanned with OKEN Scanner

ce are loc în masa de cobalt. În aceste condiții, Ni și Fe scad rezistența la uzare, deoarece stabilizează rețeaua hc și crește energia de formare a rețelei aliajelor de Co, iar Mo, W și Cr stabilizează rețeaua hexagonală simplă.

În lucrarea „Noutăți în turnătorie" (Autori: Kacico, N. A. și Markovski E. A., Kiev, 1981, p. 115—122) se relevează aliajele pe bază de Ni și Cr. Aliajele de Ni (patent S.U.A. 4363659) au un complex de proprietăți: rezistență înaltă la abraziune și la uzare adezivă, la coroziune în acizii acetic și sulfuric, înaltă duritate la cald și rezistență la șoc. Aliajele de Cr turnate se consideră materiale de perspectivă pentru ansamblurile în frecare la temperaturi, încărcări și viteze înalte. Pentru contactele electrice se menționează materialele pe bază de Ag [brevet 58-22342 (Japonia)].

În ultimii ani a crescut esențial interesul privind obținerea, prelucrarea și folosirea materialelor compozite ca o rezervă importantă de creștere a durabilității și siguranței mașinilor. Se creează compozite pe bază de diferite materiale-metale, polimeri, silicați, care după structură sînt în matrice și în straturi. Matricea poate fi metalică, ceramică și polimerică. Straturile pot fi metalice sau nemetalice, consolidate cu liant. În ultimii ani un progres substanțial în domeniul tribotehnicii s-a realizat datorită creării și producerii compozitelor cu matrice polimerică. Substanțele macromoleculare folosite ca matrice de bază au permis să se obțină materiale cu caracteristici de exploatare unice. A crescut deosebit de asemenea interesul privind obținerea și folosirea compozitelor cu matrice metalică, care au înalte proprietăți de rezistență mecanică și antifricțiune.

Succesele viitoare în crearea de aliaje tribotehnice de înaltă eficacitate vor crește pe baza unei adînciri a cineticii transformărilor structurale, de fază și prin difuzie, a proprietăților de rezistență la deformarea suprafețelor de separare a microvolumelor active, a proceselor elementare de deformare și rupere și de asemenea a elaborării criteriilor numerice de definire a stării structurale optime a lor. Condițiile importante de creștere substanțială a calității producției în construcția de mașini sînt dezvoltate în continuare prin promovarea intensă a cercetărilor în domeniul creării și investigării noilor materiale, prin acumularea informațiilor obținute în bănci de date și a informațiilor multilaterale, privind proprietățile materialelor și diferitele condiții de exploatare și prin introducerea noilor informații științifice în producție.

Scanned with OKEN Scanner

Scanned with OKEN Scanner

V

TEHNOLOGII INDUSTRIALE DE MARE EFICIENȚĂ ECONOMICĂ

13

Electrotehnologii bazate pe aplicații ale fasciculului de electroni

Prof. dr. ing. *Florin Teodor Tănăsescu*
Ing. *Mihai Mihaescu*
Ing. *Costin Ifrim*
Institutul de Cercetare Științifică și Inginerie Tehnologică pentru Electrotehnică ICPE

1. Probleme generale

Fasciculul de electroni în aplicații tehnologice industriale are la bază descoperirea emisiei electronice și realizarea, de către Lee de Forest, a triodei; posibilitatea de concentrare a fasciculului și de deplasare a sa într-un sistem de coordonate alese, anticipau largile utilizări ale procedeului cunoscut în zilele noastre.

Ideea folosirii fasciculului de electroni în aplicații termice își are începuturile în anii 1900 prin lucrările lui Pirani și se bazează pe fenomenul cunoscut că electronii emiși de un filament incandescent, aflat într-o incintă vidată, pot fi accelerați de o tensiune pozitivă, acumulînd în acest fel o energie cinetică, ce depinde de masa electronului m și de pătratul vitezei acestuia v, conform relației:

$$E = mv^2/2$$

Această energie este cedată în cea mai mare parte sub formă de căldură, atunci cînd electronii lovesc suprafața anodului. Fenomen nedorit în cazul tuburilor electronice, însă utilizat cu succes în toate aplicațiile viitoare ale procedeului, prin temperaturile ridicate pe care le poate asigura impactul electronilor cu metalul.

Dacă la nivelul anilor 1938—1939 existau începuturi timide în Germania, prin lucrările lui Steigerwald, aplicații industriale bine puse la punct nu se vor întîlni decît începînd cu deceniul 6, cînd sfera utilizărilor cunoaște o largă diversificare: găuriri, sudări, tăieri, tratamente etc. A fost nevoie de acest răstimp pentru ca tehnica vidului și respectiv optica electronică să facă progresele necesare, care să permită realizarea unor construcții sigure (obținerea unui vid înaintat de ordinul a $10^{-4} \ldots 10^{-5}$ torr, componente electronice specializate, materiale speciale pentru electrozi, elemente de automatizare complexe).

Scanned with OKEN Scanner

Dezvoltarea electrotehnologiilor bazate pe aplicații ale fasciculului de electroni este strîns legată deci de tehnicile care concură la realizarea lor, și anume: tehnica vidului și a tensiunilor înalte, electronooptica, comanda numerică, mecanica fină.

Avantajele utilizării fasciculului de electroni ca unealtă de lucru sînt determinate, în principal, de următorii factori: energia puternic concentrată a fasciculului, focalizarea și rezoluția sa înaltă, posibilitatea de reglare și reproducere cu mare precizie a parametrilor săi, posibilitatea de poziționare și mișcare fină, fără efecte inerțiale, utilizarea cu randament înalt a energiei aplicate, rapiditatea cu care se desfășoară operațiile.

Principalele electrotehnologii, bazate pe efectul termic al fasciculului de electroni la impactul cu materialul bombardat, sînt:

— sudarea de materiale metalice;
— topirea;
— perforarea;
— tratamentele termice și termochimice superficiale;
— găurirea;
— gravarea adîncă sau superficială prin evaporarea de straturi metalice;
— sublimarea;
— polimerizarea.

Sînt puse la punct și electrotehnologii bazate pe alte efecte ale fasciculului de electroni asupra materialelor, spre exemplu impresionarea unei pelicule de rezist, iradierea unor materiale etc.

Efectele termice ale fasciculului de electroni, remarcate de multă vreme ca una dintre dificultățile greu de rezolvat la realizarea surselor de radiații X, au devenit, în cazul electrotehnologiilor enunțate, chiar elementul de bază cu care se intervine asupra materialelor de prelucrat.

Posibilitățile de focalizare fină și manevrabilitatea, ca, de altfel, puterea de pătrundere a unui fascicul de electroni de densitate energetică mare în materialele cele mai dure, au permis nu numai dezvoltarea microscopiei electronice, ci și a unor tehnici complexe de sudare, tăiere și găurire, realizări de măști pentru circuite electronice, etc., greu de realizat prin alte tehnici.

Se vor prezenta în continuare elementele esențiale legate de producerea fascicolului de electroni, descrierea principalelor electrotehnologii bazate pe aplicații ale fasciculului de electroni, cu referire la utilaje specifice. Ne exprimăm opinia că specialiștii vor găsi elementele necesare pentru promovarea acestor tehnologii caracterizate nu numai prin largi posibilități tehnice de realizare a unor operațiuni, dar și prin efectele pe care le generează: calitate, productivitate, consumuri energetice mai reduse în comparație cu tehnologiile convenționale.

2. Schema de principiu a unei instalații cu fasciculul de electroni. Tunul de electroni

Elementul activ al oricărui utilaj tehnologic cu fascicul de electroni îl constituie sursa de electroni sau „tunul de electroni". Emisia, orientarea, accelerarea, focalizarea și dirijarea fasciculului au loc în vid și,

Scanned with OKEN Scanner

în funcție de procedeul tehnologic la care se aplică, se deosebesc două tehnici, respectiv două construcții:

— piesa bombardată în vederea prelucrării joacă chiar rol de anod, fiind supusă tensiunii de accelerare fără dirijarea fasciculului spre zone bine determinate ale acesteia;

— anodul constituie reper distinct al sursei de electroni cu rol de accelerare și orientare a electronilor, piesa fiind supusă unui bombardament dirijat și cu localizare controlată.

Principial, tunul de electroni evoluat, corespunzător celei de-a doua generații de echipamente, este format dintr-un catod care emite electroni liberi, un electrod de accelerare (anod) conectat la o diferență de potențial mare față de catod, un electrod de polarizare (electrod Wehnelt) care asigură formarea fasciculului, lentila (bobina) electromagnetică de focalizare și un sistem de bobine de deflexie (fig. 13.1).

Anodul tunului este găurit pentru a permite trecerea fasciculului de electroni.

Generarea electronilor liberi se poate face:

— prin emisie termoelectronică (folosită la majoritatea aplicațiilor cu caracter tehnologic);

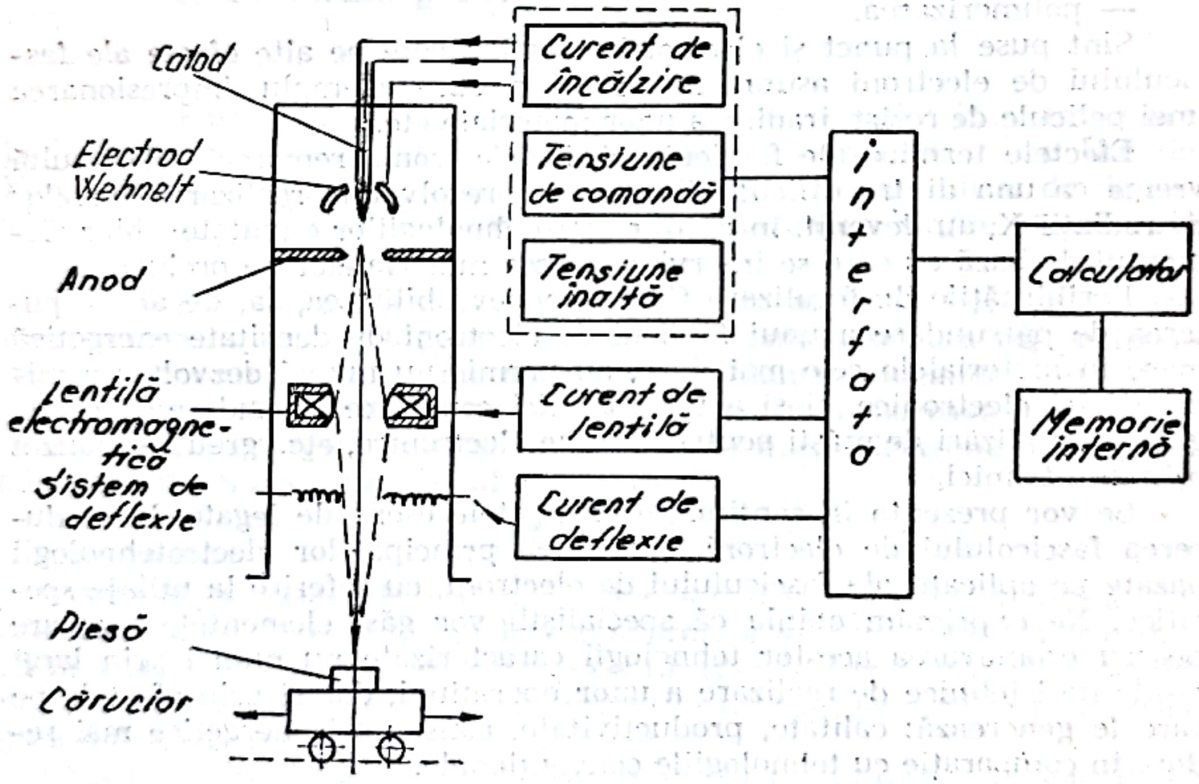


Fig. 13.1. Schema de principiu a tunului de electroni și a surselor de energie electrică necesare.

— prin emisie printr-o descărcare luminiscentă (plasmă).

Catozii termoemisivi pot fi:

— cu încălzire directă la temperatura de emisie (posedă inerție termică redusă și se utilizează pentru curenți de emisie relativ scăzuți, pînă la 100 mA);

Scanned with OKEN Scanner

— cu încălzire indirectă prin radiație sau bombardament electronic de la un catod primar cu încălzire directă (catozii de acest tip sînt masivi și se utilizează pentru curenți de emisie peste 100 mA).

Materialele folosite la construcția catozilor trebuie să îmbine o serie de calități și anume: capacitate înaltă de emisie electronică; stabilitate chimică la contactul cu gazele sau vaporii de material degajați în timpul procesului tehnologic; durată de viață ridicată; ușurință de prelucrare.

La presiunile scăzute cu care se operează în tunul de electroni (circa 10^{-5}torr), pentru a nu avea loc frînarea și dispersia electronilor, catozii se realizează, practic, numai din materiale refractare (tantal, wolfram, molibden). Pentru sisteme care nu folosesc tunul la presiuni mai mari de 10^{-5} torr și nu expun catodul cald la acțiunea unor gaze active, se utilizează și catozi acoperiți cu substanțe secundare cu proprietăți emisive, de exemplu bariu. Durata de viață a unui catod este determinată de reducerea admisibilă, prin evaporare, a secțiunii sale (circa 10%).

Electronii emiși de catod sînt accelerați spre anod datorită diferenței de potențial dintre catod și anod. Electronii eliberați de catod produc în fața acestuia o sarcină spațială negativă, ceea ce determină perturbarea repartiției potențialului electric între catod și anod, respectiv apariția unei zone de potențial minim în fața catodului. Ca urmare, nu toți electronii emiși de catod ajung la anod și, respectiv, curentul anodic este mai mic decît curentul de emisie. Regimul de funcționare se numește *emisie de sarcină spațială*, densitatea curentului de emisie fiind dată de relația (legea Child Langmuir):

$$j=\frac{4}{9}\varepsilon_0\left(\frac{2e}{m}\right)^{1/2}\cdot\frac{V^{3/2}}{d^2}=PV^{3/2},$$

unde: ε_0 este constanta dielectrică a vidului; e și m — sarcina, respectiv masa electronului; V — potențialul de accelerare; d — distanța dintre catod și anod; P — o mărime caracteristică tunului, dependentă de geometria acestuia, denumită *perveanță*.

Dacă se mărește tensiunea de accelerare, curentul anodic crește pînă cînd toți electronii emiși de catod sînt accelerați spre anod, respectiv, pînă cînd este egal cu curentul de emisie. Regimul de funcționare se numește de saturație termică, iar densitatea curentului de emisie este dată, în acest caz, de relația,

$$j_{sat}=AT^2e^{-W/T},$$

unde: A este o constantă; T — temperatura absolută a catodului; W — echivalentul termic al lucrului mecanic de ieșire al electronilor.

Majoritatea tunurilor de electroni funcționează în regim de sarcină spațială, curentul fascicolului fiind independent de caracteristicile emisive ale catodului (la emisia prin saturație termică, curentul depinde de temperatura catodului, parametru greu de stăpînit).

La aplicarea tensiunii de accelerare dintre catod și anod, electronii pot fi aduși la o viteză dorită funcție și de tensiunea de polarizare (comandă) a electrodului Wehnelt care, ca și grila la o triodă; „controlează" fasciculul ca intensitate, declanșare sau blocare. Tensiuni negative aplicate pe grilă pot fi folosite pentru pornirea sau blocarea emisiei de electroni.

Electronii accelerați spre anod sînt focalizați într-un fascicul (datorită configurației sistemului catod-electrod de polarizare-anod), care are dia-

Scanned with OKEN Scanner

metrul minim într-un punct situat în dreptul orificiului anodului. După trecerea prin acest punct, fasciculul de electroni diverge puternic, astfel încît pentru obținerea unei puteri specifice ridicate este necesară focalizarea sa, lucru pe care-l face lentila electromagnetică, comandată de blocul „curent lentilă".

Pentru baleierea fascicolului de electroni FE pe piesa de prelucrat se acționează asupra sistemului de deflexie (bobine de deflexie) prin blocul „curent deflexie". Căruciorul pe care este dispusă piesa, are posibilitatea de a se deplasa în planul orizontal.

Comanda căruciorului poate fi făcută atît manual, cît și automat cu ajutorul unui calculator electronic care acționează simultan asupra fasciculului de electroni și deplasării piesei. Calculatorul conectat la echipament printr-o interfață este prevăzut cu sisteme de programare și cu o memorie externă, asigurînd comanda „on line" a instalației de deplasare a piesei, de deflexie a fasciculului și de focalizare. Prin această combinație de comenzi pot fi realizate, practic, deplasări pe trei dimensiuni ale punctului de lucru (la o viteză corelată cu viteza de deplasare a piesei, comanda curentului fasciculului față de loc și de timp, inclusiv declanșarea prin impuls).

Avantajul acestei comenzi constituie comparația permanentă a valorii prescrise cu valoarea reală dedusă din parametrii de prelucrare. Aceasta are deosebită importanță la uzinarea unor piese grele, în care situație masa de lucru nu este în stare să urmărească exact traiectoria dorită în timp și spațiu. Prin comparația valorii reale a poziției mesei cu valoarea prescrisă de calculator, rezultă o abatere care este corelată prin deflecția fasciculului de electroni, — care lucrează aproape fără inerție — pînă la deplasarea piesei.

După tipul de încălzire al catodului și după modul de alimentare a electrodului de polarizare, se disting trei tipuri constructive de tunuri de electroni (fig. 13.2).

Tunul diodă sau tip Pierce (fig. 13.2, *a*), la care electrodul de polarizare *1* este legat la potențialul catodului *2* iar catodul este cu încălzire indirectă. Este utilizabil pentru puteri în fascicul în gama 1—30 kW, cu o tensiune maximă de accelerare de 60 kV, prezintă avantaje în ceea ce privește protecția biologică datorită emisiei reduse de radiații X. Încălzirea indirectă asigură reproductibilitatea parametrilor și durata de viață relativ mare. Prezintă însă dezavantajul că nu se poate asigura o reglare a curentului fascicolului de electroni independentă de tensiunea de accelerare.

Tunul Pierce triodă (fig. 13.2, *b*) are electrodul de polarizare *1* polarizat negativ față de catodul *2*. Curentul fasciculului de electroni se poate regla independent de tensiunea de accelerare prin modificarea potențialului de polarizare a acestui electrod.

Tunul triodă specializat (fig. 13.2, *c*) este un tun cu focalizare la distanță, la care „se proiectează" pe piesa de prelucrat imaginea electronică a unui catod punctiform, spre exemplu din vîrful filament îndoit sub formă de V cu încălzire directă. Prin forma cîmpului electric, traiectoriile electronilor diverg în zona catodului, pentru ca apoi să se focalizeze la o distanță relativ mare de anod. Se obține un fascicul de electroni foarte

Scanned with OKEN Scanner

fin, cu un unghi de apertură mic. Acest tip de tun se folosește, în general, la tensiuni de accelerare ridicate (pînă la 150 kV).

Focalizarea fasciculului de electroni, la toate cele trei tipuri de tunuri electronice, se face cu ajutorul cîmpului magnetic dat de o bobină (lentilă electromagnetică).

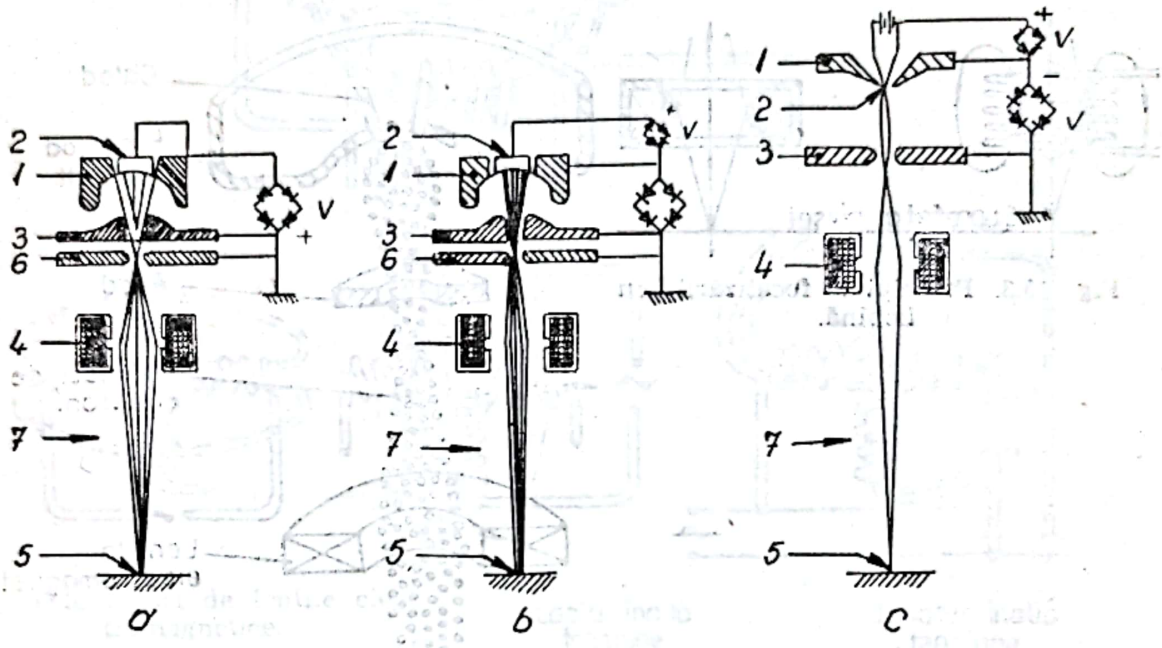


Fig. 13.2. — Tipuri constructive de tunuri electronice:
1 — electrod de polarizare (Wehnelt); *2* — catod; *3* — anod; *4* — bobină de focalizare; *5* — piesă de sudat; *6* — diafragmă; 7 — fascicul de electroni.

Fasciculul de electroni, după ce a depășit cu viteză mare anodul (viteză de ordinul a două treimi din viteza luminii), intră în domeniul de influență al acestei lentile electromagnetice (fig. 13.3), ajungînd să bombardeze piesa de prelucrat pe o suprafață (pată) foarte mică, respectiv cu un efect energetic maxim (fig. 13.4).

Prin reglarea curentului în lentila electromagnetică de focalizare se poate deplasa punctul de focalizare în direcție axială, determinînd o variație a densității energetice în pata focală.

În vederea deflexiei fasciculului după orice direcție, atît static, cît și dinamic (pendulări rectilinii după diferite direcții, pendulări circulare sau după alte funcții), tunul de electroni este prevăzut cu un sistem de patru bobine cu axele în unghi drept (fig. 13.5).

Prin alimentarea corespunzător corelată și controlată a acestor bobine, de la un generator de funcții, se pot obține toate facilitățile de deplasare a fasciculului.

Pornind de la faptul că nu toate procesele tehnologice necesită în zona de impact a fasciculului cu piesa de prelucrat (deci după focalizare) același nivel pretențios al vidului ca în tunul electronic și că este foarte avantajos, din punctul de vedere al productivității, ca atunci cînd se operează la piesa de prelucrat să nu se deterioreze vidul în tunul electronic (deci să se păstreze și încălzirea filamentului), constructorii de utilaje cu fascicul de electroni au introdus așa-numitul „ventil de fascicul" care

separă camera de lucru propriu-zisă de tun și care se închide la întreruperea fasciculului și deschiderea camerei de lucru.

În fig. 13.6 se prezintă desenul de principiu complet al unui tun electronic, în varianta Steigerwald (R.F.G.), cu focalizare la distanță și toate elementele constructive enunțate, inclusiv un sistem optic de vizare directă a piesei de prelucrat și a petei focale pentru poziționare corectă,

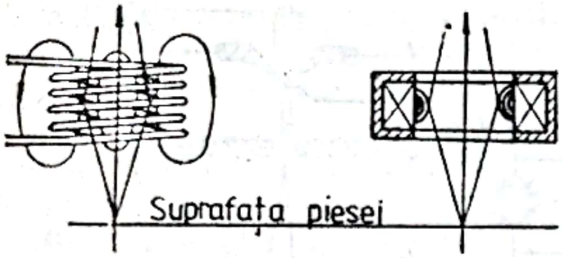


Fig. 13.3. Principiul focalizării cu bobină.

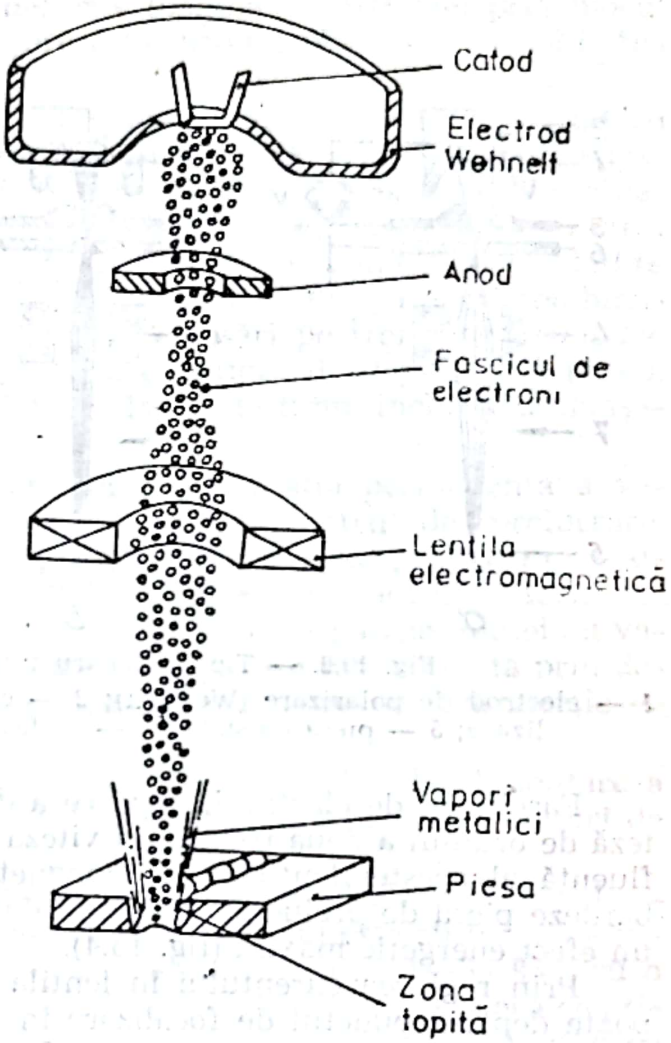


Fig 13.4. Prezentarea schematică a emisiei și focalizării electronilor.

iar în fig. 13.7 schema completă a unui utilaj de prelucrare cu fascicul de electroni tip Steigerwald (R.F.G.) care cuprinde: tunul de electroni, camera de lucru, sistemele de realizare a vidului, alimentarea electrică de forță și de comandă.

Comportarea specifică a fasciculului de electroni cu flux de particule încărcate, de masă foarte mică, dar cu viteză foarte mare, se pretează foarte bine pentru aplicarea comenzii numerice. Procedeele tehnologice bazate pe acest instrument de lucru necesită comanda simultană atît a fasciculului, cît și a piesei de prelucrat, astfel încît comanda directă a calculatorului se aplică atît mișcării piesei de lucru, cît și deviației fasciculului și focalizării acestuia. Această combinație permite mișcarea tridimensională a punctului focal în corelare cu viteza de prelucrare la nivelul piesei. În același timp, calculatorul comandă valoarea curentului de fascicul funcție de poziția piesei și, după caz, declanșarea energiei

Scanned with OKEN Scanner

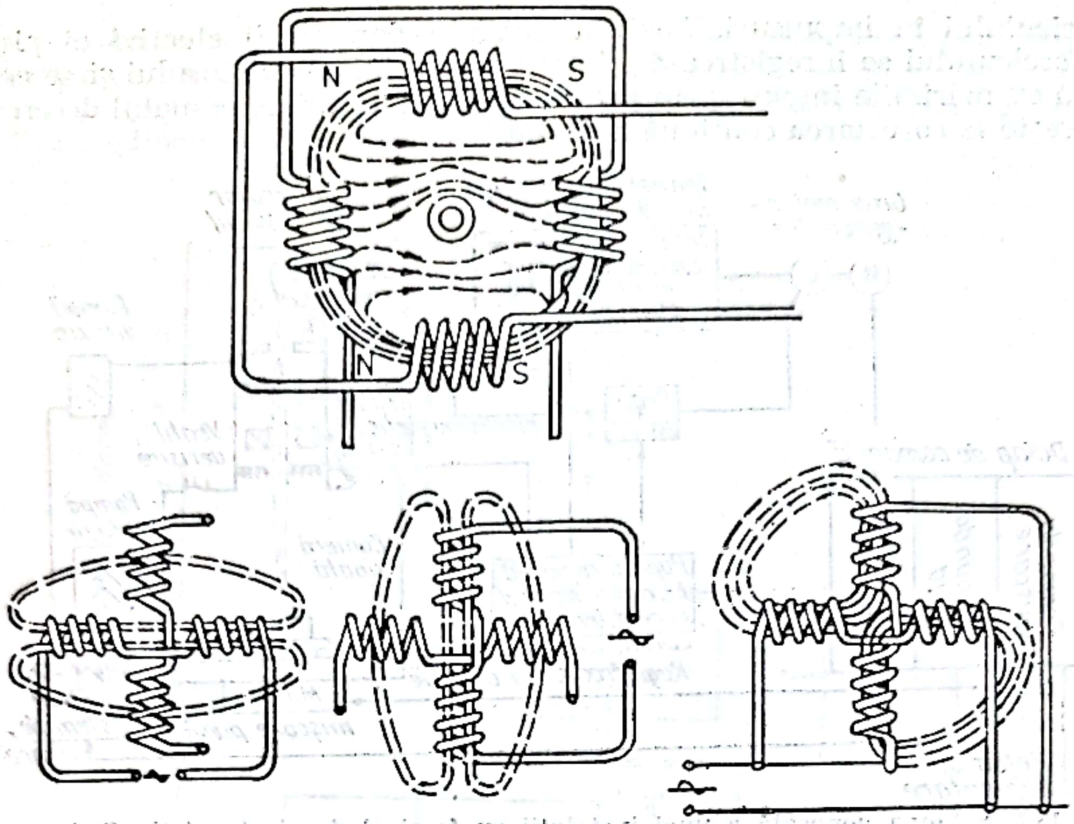


Fig. 13.5. Tipuri de lentile electromagnetice.

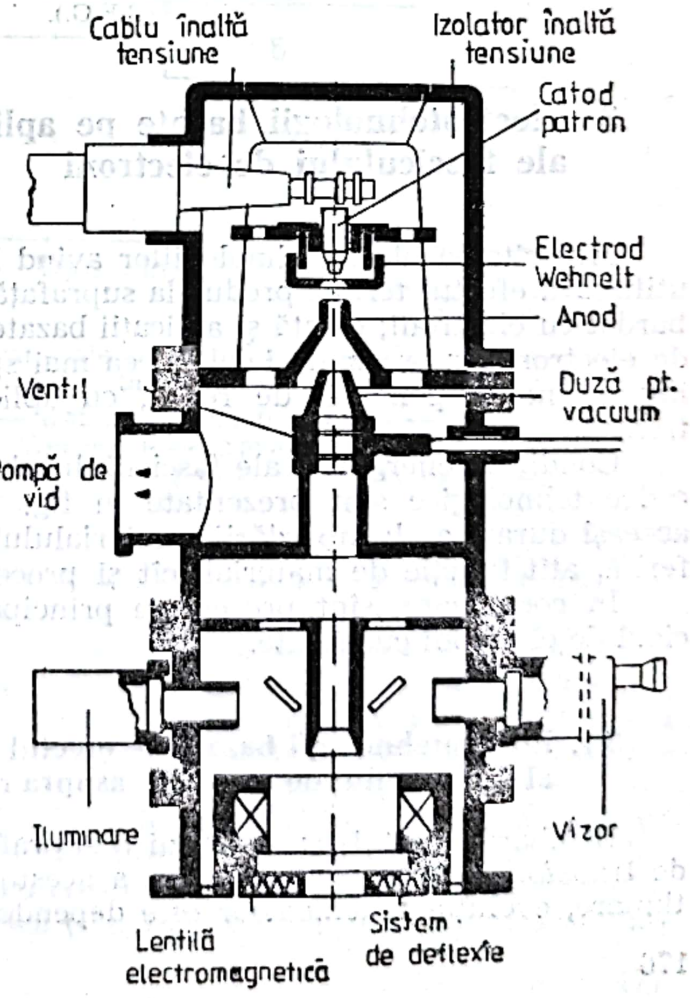


Fig. 13.6. Tun electronic cu focalizare la distanță.

Scanned with OKEN Scanner

fasciculului în impulsuri. Poziţiile reale şi parametrii efectivi ai piesei şi fasciculului se înregistrează contiuu la nivelul calculatorului şi se compară cu mărimile impuse prin programul memorat, iar semnalul de eroare serveşte la corectarea continuă a deviaţiilor.

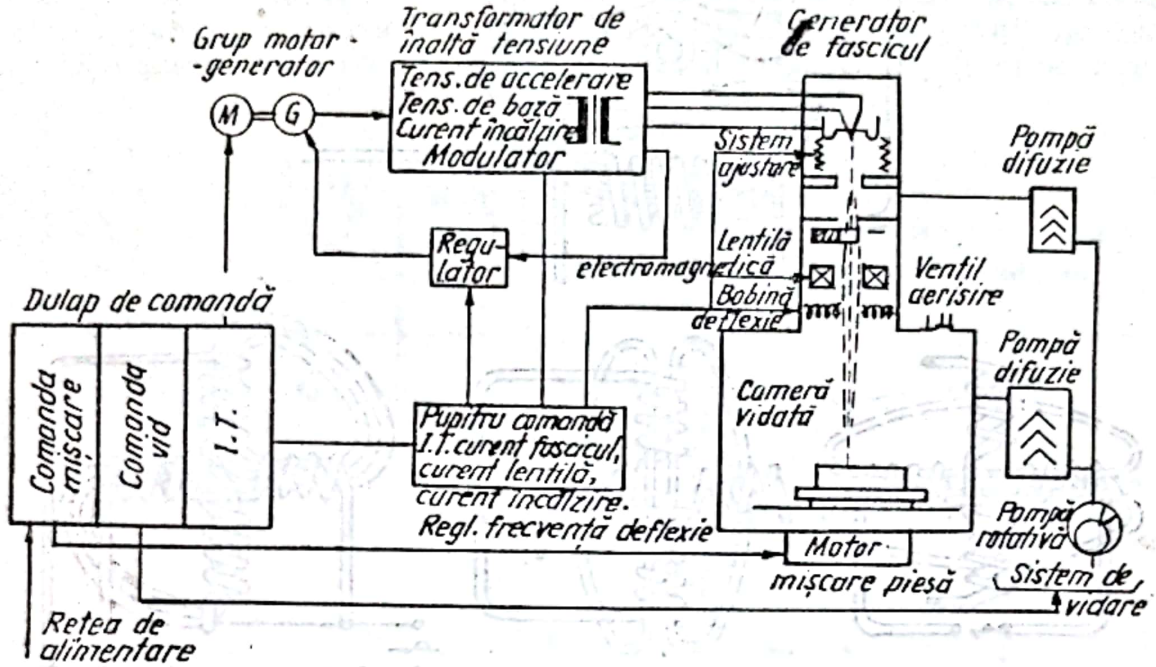


Fig. 13.7. Schema generală a unei instalaţii cu fascicol de electroni tip Steigerwald (R.F.G.).

3. Electrotehnologii bazate pe aplicaţii ale fasciculului de electroni

Majoritatea electrotehnologiilor avînd la bază fasciculul de electroni utilizează efectul termic produs la suprafaţă şi în masa materialului bombardat cu electroni; există şi aplicaţii bazate pe alte efecte ale fasciculului de electroni asupra materialelor, cea mai spectaculoasă ca rezultate fiind impresionarea peliculei de rezist, cu aplicaţii deosebite în microelectronică.

Condiţiile energetice ale fasciculului de electroni pentru diferite procedee tehnologice sînt prezentate în fig. 13.8. Se observă că pentru o aceeaşi durată a „bombardării" materialului, densitatea de putere este diferită, atît funcţie de material, cît şi procedeul tehnologic aplicat.

În continuare, sînt prezentate principalele electrotehnologii cu fascicul de electroni cunoscute.

3.1. Electrotehnologii bazate pe efectul termic al fasciculului de electroni asupra materialului bombardat

Bombardamentul cu electroni a suprafeţei unui material este însoţit de transformarea energiei cinetice a acestora în energie termică. În continuare, evoluţia fenomenelor este dependentă de parametrii fasciculului

de electroni și de proprietățile termice ale țintei, care local poate fi încălzită, topită sau vaporizată.

La impactul cu suprafața solidă a materialului, electronii pătrund pînă la o adîncime R, dată de relația

$$R = 2{,}2 \cdot 10^{-12} U^2/\rho,$$

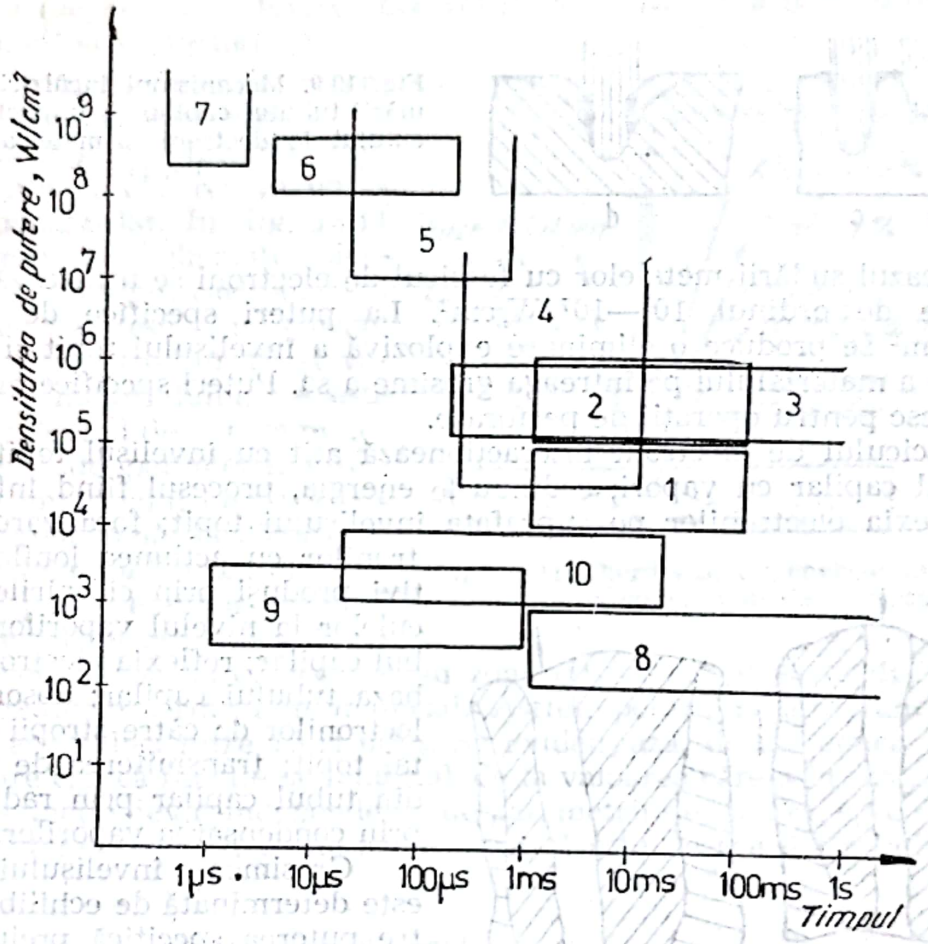


Fig. 13.8. Domenii de aplicație ale fasciculului de electroni. Densitate de putere în funcție de durata bombardării: pentru metale: 1 — călire superficială; 2 — tratament prin fuziune; 3 — sudură; 4 — perforare; 5 — găurire/frezare; 6 — gravare; 7 — sublimare; pentru materiale plastice: 8 — polimerizare; 9 — electro-rezist.; 10 — perforare.

unde U este tensiunea de accelerare a electronilor și ρ — masa specifică a materialului.

Spre exemplu, la o tensiune de accelerare de 100kV, electronii, realizînd o viteză de peste 100 km/s, pătrund în metal pînă la o adîncime de 0,025 mm. Rezultă deci că adîncimea mare la prelucrarea cu fascicul de electroni nu se datorește pătrunderii electronilor în material, ci a propagării energiei acestora.

Cedînd pînă la nivelul adîncimii R energia cinetică, dacă puterea specifică a fasciculului este scăzută, are loc o încălzire a materialului prin conducție (fig. 13.9, *a*), iar cu creșterea puterii specifice a fasciculului profilul zonei încălzite se modifică (fig. 13.9, *b* și *c*) prin vaporizarea ma-

Scanned with OKEN Scanner

terialului și eliminarea vaporilor din craterul produs datorită încălzirii puternice. Astfel, fasciculul poate, cumulativ, influența și zone mai adînci.

Pentru metale, la puteri specifice de ordinul 10^6 W/cm², sub presiunea vaporilor produși, se formează un tub capilar cu vapori avînd o adîncime mare (fig. 13.9, d), care este înconjurat cu un înveliș subțire de material topit.

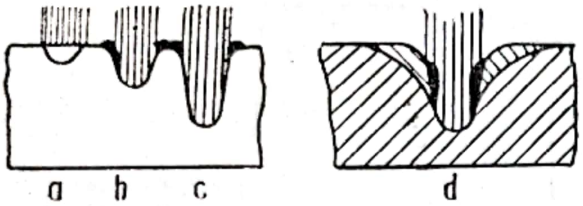


Fig. 13.9. Mecanismul încălzirii și formării tubului capilar la impactul fasciculului de electroni cu materialul bombardat.

În cazul sudării metalelor cu fascicul de electroni se utilizează puteri specifice de ordinul 10^5—10^7 W/cm². La puteri specifice de ordinul 10^8 W/cm² se produce o eliminare explozivă a învelișului topit și o străpungere a materialului pe întreaga grosime a sa. Puteri specifice mai mari se folosesc pentru operații de perforare.

Fasciculul de electroni interacționează atît cu învelișul topit, cît și cu tubul capilar cu vapori, cedîndu-le energia, procesul fiind influențat de: reflexia electronilor pe suprafața învelișului topit; focalizarea electronilor cu acțiunea ionilor pozitivi produși prin ciocnirile particulelor la nivelul vaporilor în tubul capilar; reflexia electronilor la baza tubului capilar; absorbția electronilor de către stropii de metal topit; transmiterea de căldură din tubul capilar prin radiație și prin condensarea vaporilor.

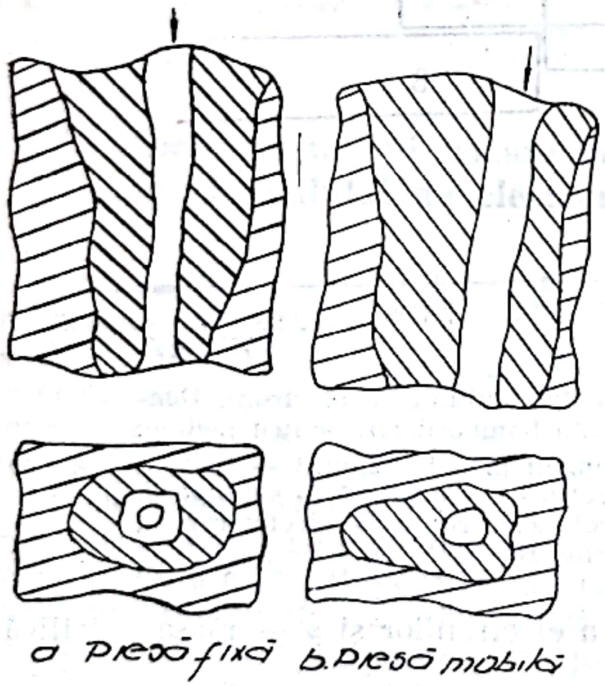


Fig. 13.10. Geometria tubului capilar pentru piese fixe și mobile.

Grosimea învelișului topit este determinată de echilibrul dintre puterea specifică preluată de acesta și puterea specifică transmisă prin conducție. Cu cît densitatea de putere la o putere dată este mai ridicată, cu atît adîncimea tubului capilar va fi mai mare, iar grosimea învelișului topit mai mică. Practic, diametrul tubului capilar este egal cu diametrul fasciculului de electroni.

În cazul în care fasciculul de electroni nu se deplasează față de piesă, ca urmare a simetriei de rotație a fasciculului, tubul capilar și învelișul topit au, de asemenea, simetrie de rotație, fig. 13.10, *a*. Dacă fasciclul de electroni se deplasează față de piesă, geometria tubului capilar și cea a învelișului topit se vor abate de la simetria de rotație cu atît mai mult, cu cît viteza de deplasare relativă este mai mare, fig. 13.10, *b*.

Scanned with OKEN Scanner

Prin mișcarea relativă față de piesă, fasciculul de electroni întîlnește materialul rece, solid, pe care îl topește. În condiții de echilibru, o cantitate egală de material se solidifică în urma fasciculului de electroni. În felul acesta se creează un front de topire și un front de solidificare, despărțite de fasciculul de electroni, între care se produce un transport de material (de la cel de topire spre cel de solidificare, atît pe direcție orizontală, cît și verticală).

Cu toată eficiența procedeului, energia fasciculului de electroni nu este folosită integral pentru încălzirea materialului bombardat. În fig. 13.11 sînt prezentate schematic pierderile de energie care apar și care se datoresc, în special, electronilor retrodifuzați și vaporizării materialului. Aceste pierderi depind de natura materialului și de parametrii fasciculului, materialul de bază putînd prelua pînă la 95% din energia totală a fasciculului. Pe de altă parte, energia preluată de material nu este folosită integral pentru încălzirea acestuia în zona de impact, o parte disipîndu-se prin conducție termică în material. Astfel, pentru sudare randamentul termic are valori între 15 și 60%. Se evidențiază, de asemenea, o viteză de sudare critică funcție de material, de la valoarea căreia în sus pierderile prin conducție devin independente de parametrii de sudare; spre exemplu, pentru oțel-carbon viteza de sudare critică este de cca 0,6 m/min.

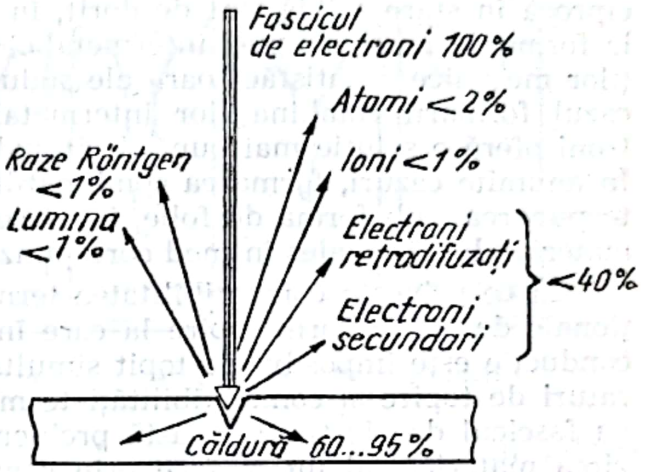


Fig. 13.11. Pierderile de energie la bombardarea cu fascicul de electroni.

3.1.1. Sudarea cu fascicul de electroni

Concentrarea puternică a energiei, specifică electrotehnologiilor bazate pe aplicații ale fasciculului de electroni, determină, în cazul procedeului de sudare, un transfer de energie de la sursa termică la piesă pe întreaga grosime a sudurii și, ca urmare, introducerea unei cantități de căldură semnificativ mai redusă decît la procedeele convenționale de sudare prin topire. Volumul redus al băii de sudare, timpul scurt a fazei lichide și posibilitatea de control exact al fasciculului de electroni face ca efectele metalurgice negative să fie mai puțin importante decît la sudarea convențională. Modificările metalurgice sînt limitate la o zonă de dimensiuni reduse, cu o lățime de circa 1—2 ori lățimea sudurii, lățimea acestei zone depinzînd de natura materialului de bază. Ca urmare a gradienților de temperatură ridicați, viteza de răcire a sudurii este foarte mare (pînă la 10 000°C/s).

Din punctul de vedere al comportării materialelor, sudarea cu fascicul de electroni are o mare universalitate; practic toate materialele care se sudează printr-un procedeu de sudare prin topire pot fi sudate în con-

Scanned with OKEN Scanner

diții superioare cu fascicul de electroni. În plus, operarea în vid asigură posibilitatea sudării în bune condiții a materialelor refractare (titan, wolfram, tantal, zirconiu, niobiu), motiv pentru care a căpătat largi aplicații în industria aerospațială, nucleară.

Ca la toate procedeele de sudare prin topire, există totuși probleme legate de compatibilitate metalurgică, respectiv termică, cînd se sudează piese din materiale diferite. Combinațiile de materiale cu solubilitate reciprocă în stare solidă sînt de dorit, în timp ce combinațiile care conduc la formarea unor compuși intermetalici sînt de evitat, datorită proprietăților mecanice nesatisfăcătoare ale sudurilor. Cu toate acestea, chiar și în cazul formării combinațiilor intermetalice sudarea cu fascicul de electroni oferă o soluție mai bună decît sudarea prin procedee convenționale. În anumite cazuri, formarea combinațiilor intermetalice se evită prin interpunerea, sub formă de folie, între cele două materiale de bază a unui material de adaos ales în mod corespunzător.

În ce privește compatibilitatea termică, în cazul procedeelor convenționale de sudare prin topire la care încălzirea materialului se face prin conducție este imposibil de topit simultan două materiale care au temperaturi de topire și conductibilități termice mult diferite. În cazul sudării cu fascicul de electroni această problemă nu apare prin faptul că încălzirea materialului nu se face prin conducție, ci prin acțiunea directă a fasciculului de electroni pe întreaga secțiune a sudurii. În același timp, există posibilitatea egalizării efectelor termice în cele două materiale prin deplasarea punctului de impact al fasciculului de pe linia de îmbinare spre materialul cu conductibilitate termică mai ridicată.

Parametrii care intervin la sudarea cu fascicul de electroni sînt următorii: tensiunea de accelerare U; curentul fasciculului de electroni I; distanța focală d_f; diametrul fasciculului de electroni d; distanța de tir d_t, de la suprafața inferioară a tunului electronic la suprafața piesei de sudat; viteza de sudare v_s; presiunea în camera tunului p_t; presiunea la locul sudării p_s; forma, amplitudinea, frecvența oscilațiilor și direcția de oscilare a fasciculului de electroni; direcția și unghiul de deflexie al fasciculului de electroni față de axa electronooptică a tunului; forma și durata impulsurilor la sudarea în regim de impulsuri; modul de variație al curentului fasciculului la începutul și sfîrșitul sudării; natura, dimensiunile și viteza de introducere a materialului de adaos în sudură, în cazul sudării cu material de adaos; tratamentul termic după sudare.

Acești parametri sînt dependenți de natura materialelor ce se sudează și de geometria îmbinării sudate. Natura materialului se ia în considerare prin: compoziția chimică, modul de elaborare, constantele de material (temperatura de topire θ_t, temperatura de vaporizare θ_v, căldura specifică c, căldura latentă de topire și de vaporizare H, conductibilitatea termică λ, difuzibilitatea a, presiunea de vapori, densitatea ρ).

Elementul geometric principal al unei suduri cu fascicul de electroni este pătrunderea sudurii p. În anumite ipoteze simplificatoare cu aplicabilitate la sudarea unor componente cu grosimi pînă la 40 mm și tensiuni de accelerare pînă la 150 kV, se recomandă următoarea relație de calcul:

$$p = \frac{1}{2{,}1} \cdot \frac{UI}{v_s d} \cdot \frac{1}{c\rho\,\theta_t + H} \cdot \frac{1}{1 + 5\,\lambda/(dv_s) + 2{,}5c},$$

Scanned with OKEN Scanner

Ținînd seama că diametrul fasciculului de electroni depinde de tensiunea de accelerare ($d \sim U^{-0,5}$), rezultă că pătrunderea sudurii crește mai mult decît proporțional cu tensiunea de accelerare:

$$p \sim U^{1,5} I \sim P U^{0,5}.$$

Lățimea sudurii b este influențată în măsură redusă de tensiunea de accelerare și crește cu mărimea curentului fasciculului, iar la suprafața

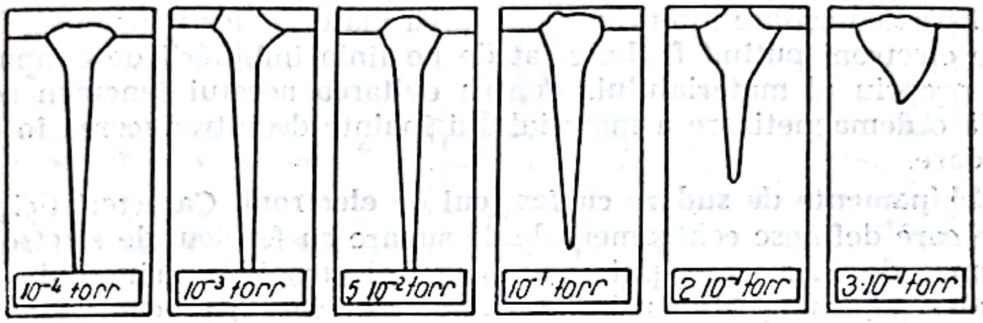


Fig. 13.12. Influența presiunii la sudare asupra geometriei sudurii.

piesei este dependentă de diametrul fasciculului în focar, prin relația aproximativă

$$b \approx 8d.$$

Pătrunderea este influențată și de distanța de tir în corelație cu presiunea la locul sudării, în sensul că, cu cît distanța de tir este mai mare, cu atît dispersia fasciculului de electroni este mai pronunțată.

Mărimea presiunii în camera de lucru afectează geometria sudurii prin reducerea coeficientului de suplețe al acesteia (fig. 13.12). Efectul creșterii presiunii la locul sudării este asemănător cu efectul unei defocalizări sau al măririi distanței de tir.

Poziția focarului fasciculului de electroni față de suprafața piesei afectează atît forma sudurii, cît și calitatea ei.

În fig. 13.13 se prezintă informativ puterea specifică necesară (puterea raportată la pătrunderea sudurii) funcție de viteza de sudare pentru diferite materiale.

La sudura cu fascicul de electroni rosturile dintre cele două piese nu se prelucrează la o formă specială. Dat fiind însă diametrul redus al fasciculului de electroni (0,05—0,5 mm) și faptul că de regulă nu se utilizează material de adaos, este necesară o pregătire pretențioasă a suprafeței pieselor în zona de sudat.

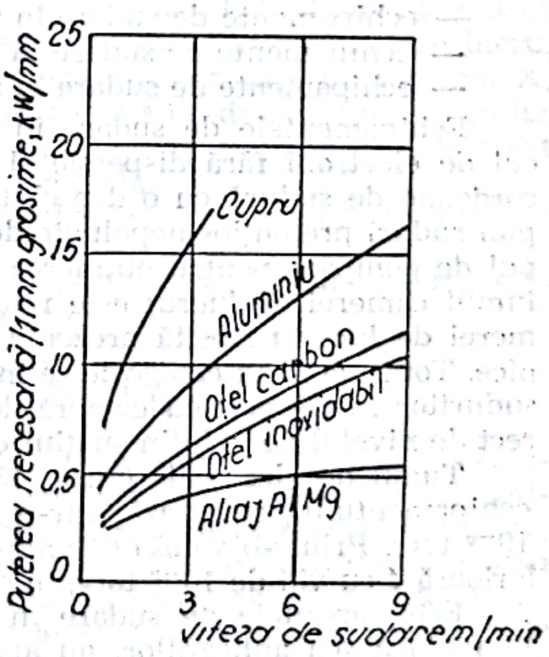


Fig. 13.13. Variația puterii specifice în funcție de viteza de sudare.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru realizarea unor suduri de calitate, se admit rosturi cu deschideri sub 0,1 mm pe întreaga lungime a sudurii (la piese cu grosimi peste 30 mm se ajunge pînă la 0,2 mm). În cazul unor rosturi cu deschideri mai mari decît valorile admisibile, se pot realiza suduri corespunzătoare doar prin utilizarea unor materiale de adaos sub formă de sîrmă introdusă continuu în zona topită.

În vederea sudării, piesele trebuie curățate mecanic pentru a îndepărta urmele de oxizi, ulei; de obicei se spală cu un solvent organic.

O particularitate intervine la sudarea materialelor magnetice, fasciculul de electroni putînd fi deflectat de pe linia îmbinării de cîmpul magnetic propriu al materialului. Pentru evitarea acestui fenomen se recomandă o demagnetizare a materialului înainte de introducerea în camera de sudare.

Echipamente de sudare cu fascicul de electroni. Caracteristicile principale care definesc echipamentele de sudare cu fascicul de electroni sînt: tensiunea de accelerare, puterea tunului electronic, presiunea în camera de sudare, forma și dimensiunile camerei de lucru, precum și modul de fixare și deplasare a piesei determinat de regimul de lucru.

În funcție de tensiunea de accelerare cu care operează, echipamentele de sudare se clasifică în două grupe:

— echipamente de sudare cu tensiune joasă, 30—60 kV;

— echipamente de sudare cu tensiune înaltă, pînă la 150—175 kV.

Între cele două grupe nu există diferențe deosebite sub aspectul performanțelor de sudare. Ambele pot rezolva aceleași categorii de lucrări, cu observația că cele de tensiune înaltă operează cu un fascicul de electroni de diametru mai mic, mai ușor de comandat, iar cele de tensiune joasă sînt mai simple și, implicit, mai puțin costisitoare.

În funcție de presiunea la locul sudării, s-au dezvoltat trei tipuri de echipamente de sudare (fig. 13.14):

— echipamente de sudare în vid înaintat (10^{-4} torr);

— echipamente de sudare în vid parțial (10^{-2} torr);

— echipamente de sudare în atmosferă.

Echipamentele de sudare în vid înaintat asigură, practic, un fascicul de electroni fără dispersie și se utilizează atunci cînd sînt necesare cordoane de sudură cu o deosebită suplețe, precum și atunci cînd se impun suduri pretențios nepoluate de atmosferă. La aceste echipamente timpul de pompare pentru obținerea vidului înaintat (desigur funcție de volumul camerei de lucru) este relativ mare, iar sistemul de vidare al camerei de lucru necesită prezența pompei de difuzie pe lîngă cele mecanice. Tot în această categorie se înregistrează realizări destinate executării sudurilor în cosmos, cu cameră de lucru practic deschisă, beneficiind direct de nivelul de vid din spațiul cosmic.

Tunul de electroni *1* (fig. 13.14, *a*), dispus în partea superioară a echipamentului, activează într-o incintă, *2*, în care se găsește un vid de 10^{-5} torr. Printr-o vană de izolare, *3*, fasciculul este dirijat în incinta inferioară *4* cu vid de 10^{-2} torr, în care este dispusă piesa *5*.

Echipamentele de sudare în vid parțial, care se utilizează, practic, în majoritatea aplicațiilor, au apărut ca urmare a constatării că un vid de ordinul a 10^{-2} torr nu determină o dispersie supărătoare a fasciculului de electroni. Ca o consecință, apar avantajele eliminării pompei de

Scanned with OKEN Scanner

difuzie la camera de lucru și micșorarea timpului de vidare a acesteia, cu avantaje directe asupra productivității. Desigur că în tun generarea fasciculului de electroni se face în continuare în vid înaintat, utilizîndu-se ventilul de rază între incinta tunului și camera de lucru.

La echipamentele de sudare în atmosferă, (fig. 13.14, *b*), tunul de electroni *1*, plasat într-o incintă vidată *2*, trimite fasciculul de electroni

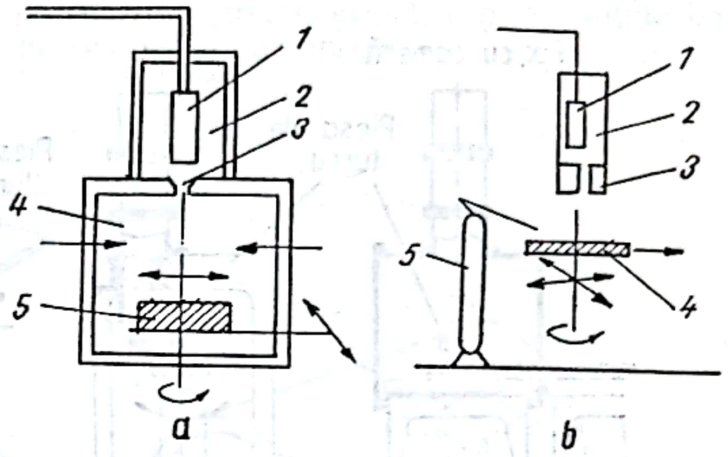


Fig. 13.14. Echipamente de sudare cu fascicol de electroni în vid parțial (*a*) și atmosferă liberă (*b*):

a) *1* — tun de electroni; *2* — incintă super; *3* — vamă de izolare; *4* — incintă inferioară; *5* — piesa; *b*) *1* — idem; *2* — idem; *3* — sas; *4* — piesa de prelucrat; *5* — protecția gazoasă; *6* — protecție gazoasă (gaz inert).

prin „sasul" *3*, asupra piesei de prelucrat *4*, dispusă în atmosferă normală. Un sistem de protecție gazoasă (un gaz inert) protejează locul prelucrării contra oxidărilor ce pot apărea în timpul procesului. Aceste echipamente s-au dezvoltat, cu toate dezavantajele legate de dispersia fasciculului și reducerea supleței cordonului de sudură, datorită avantajului major al simplificării echipamentului și, implicit, mărirea productivității. Uneori, construcția necesită înterpunerea unei incinte de trecere (sau mai multe), de dimensiuni reduse, cu vid parțial, ca tampon între vidul înaintat din tun și presiunea atmosferică. De regulă zona de sudare se protejează cu gaz inert, argon sau heliu, la presiunea atmosferică. Este de menționat că aceste echipamente, datorită lipsei pereților metalici ai camerei de lucru, necesită măsuri speciale de protecție a operatorilor față de radiația X, inerentă bombardamentului electronic. În funcție de dimensiunile pieselor de sudat, se înregistrează realizări cu mașină fixă și piesă de prelucrat mobilă, precum și cu piesă fixă și mașină mobilă.

Pentru reducerea dispersiei fasciculului se operează cu distanțe de tir scăzute (10—15 mm).

În ce privește regimul de lucru, se cunosc, în principal, următoarele tipuri de echipamente de sudare (fig. 13.15):

— echipamente cu cameră și post fixe;
— echipamente cu masă avînd un regim ciclic;
— echipamente cu regim continuu.

Echipamentele cu cameră (fig. 13.15, *a*) constituie echipamentul standard de sudare cu fascicul de electroni, cu un pronunțat caracter de universalitate în ce privește utilizările. Este apt pentru lucrări de cercetare, pentru sudare de unicate și de serie mică. Se realizează în variante pentru piese de dimensiuni relativ mari, camera de lucru avînd un volum de la 1 m^3 pînă la 100 m^3, prevăzută cu mecanisme de deplasare liniară și de rotire controlată a pieselor. Timpul de vidare al camerei de lucru este relativ mare, 2—20 min.

Scanned with OKEN Scanner

Echipamentul cu masă avînd un regim ciclic (fig. 13.15, *b*) este specializat, camera de lucru de dimensiuni relativ reduse fiind adaptată, ca formă și mecanisme de deplasare, pieselor care se sudează. Se pot obține producții, pentru piese relativ mici, pînă la 2 000 de bucăți în 8 ore.

Echipamentul cu regim continuu (fig. 13.15, *c*) este destinat lucrărilor de sudare continuă pe piese de lungime indefinită, spre exemplu benzi

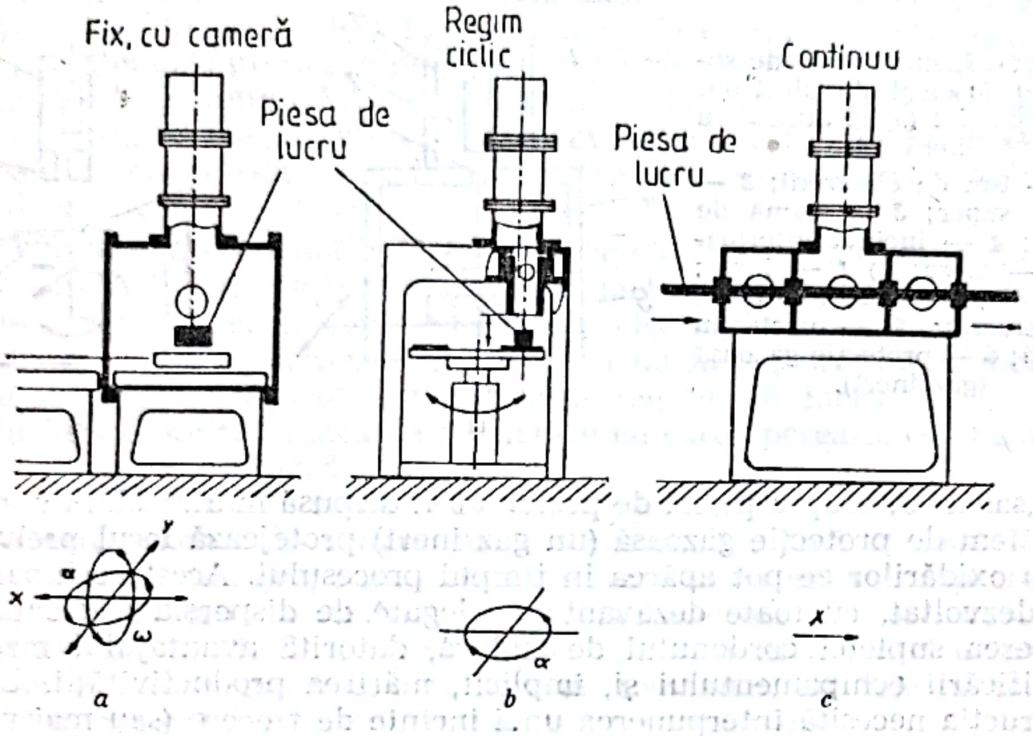


Fig. 13.15. Tipuri de echipamente de sudare în funcție de regimul de lucru.

sau bare. Camera de lucru este intercalată între camere de previdare, respectiv de trecere la presiunea atmosferică. Procesul de sudare decurge continuu, piesele trecînd prin camerele cu diferite trepte de vidare, cu viteză relativ ridicată (pînă la 20 m/min).

Desigur aceste clasificări nu epuizează diversitatea echipamentelor de sudare cu fascicul de electroni dezvoltate în prezent pe plan mondial și izvorîte din penetrarea acestei electrotehnologii în cele mai diferite aplicații. Un exemplu relativ recent îl constituie echipamentele de sudare cu vid local și vid mobil (fig. 13.16), destinate sudării pieselor cu dimensiuni mari și construcții complicate, la care se creează vidul doar în vecinătatea zonei de sudare.

Prima variantă, echipamentul cu vid local (fig. 13.16, *a*), este prevăzut cu cameră de vidare de formă paralelipipedică, care se așază peste piesele care se sudează. Un sistem de vidare distinct asigură vidarea de pe partea opusă a acestora. Tunul de electroni culisează în lungul camerei, executînd cordonul de sudură pe o anumită porțiune, după care camera de vidare se ridică și se deplasează în poziția următoare în lungul liniei de îmbinare.

Echipamentul cu vid mobil (fig. 13.16, *b*) se deplasează continuu în lungul traiectoriei de sudare, camera de vidare fiind aplicată peste piesele

Scanned with OKEN Scanner

de sudat și etanșată față de acestea printr-un sistem mobil cu mai multe ecluze de vidare. Sistemul poate fi adaptat pentru piese cu geometrii diferite, spre exemplu cilindrice (fig. 13.16, *c*; sînt posibile două poziții).

Tipuri de îmbinări sudate. Exemple. Față de procedeele convenționale de sudare, la sudarea cu fascicul de electroni este posibilă o diversitate mare de tipuri de îmbinări. Aceasta derivă din precizia ridicată de comandă a fasciculului (ca poziție, mișcare, energie), din distanțele de tir relativ mari și din deosebita concentrare a energiei.

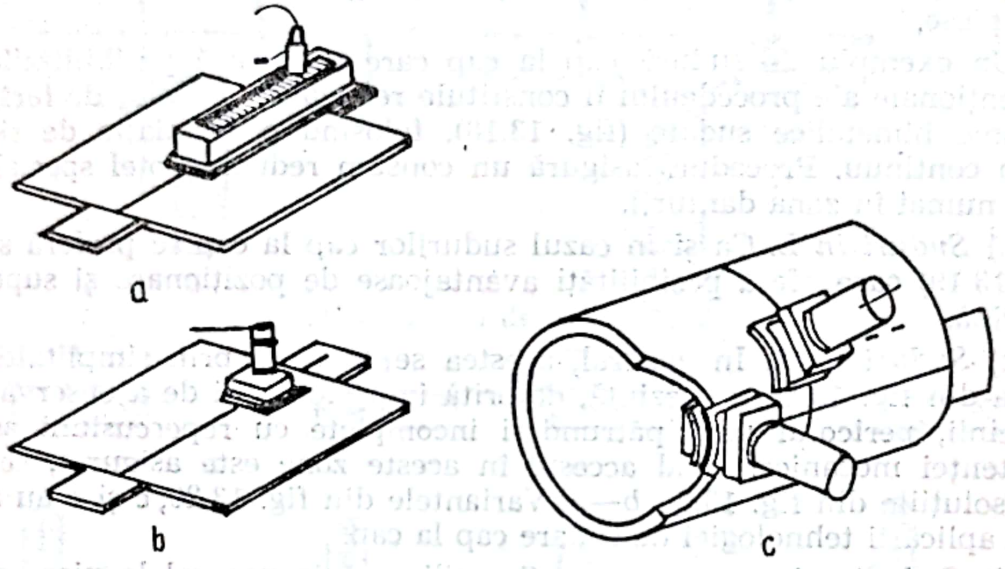


Fig. 13.16. Echipamente de sudare cu vid local.

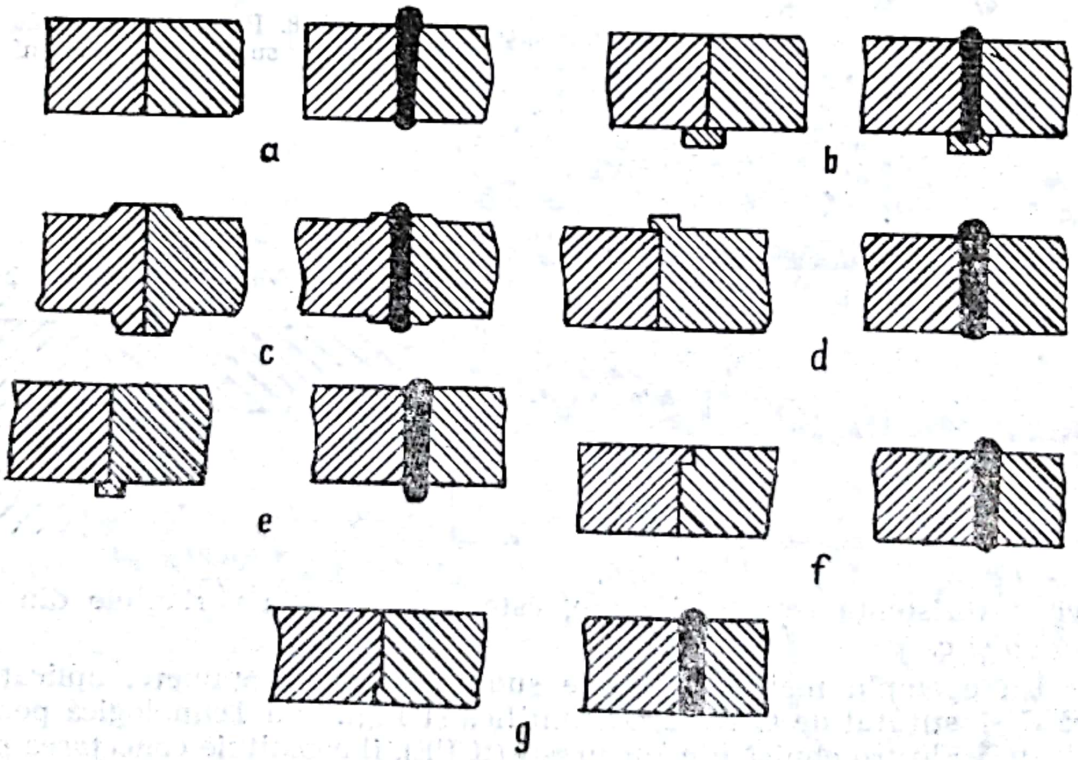


Fig. 13.17. Tipuri de îmbinări sudate.

Scanned with OKEN Scanner

În continuare se prezintă principalele posibilități tehnologice în ce privește tipurile de îmbinări.

a) *Suduri cap la cap.* Varianta din fig. 13.17, *a* este cea mai simplă din punct de vedere tehnologic. Este însă pretențioasă în ce privește poziționarea fasciculului și reglarea parametrilor energetici. Nu se recomandă la piese solicitate dinamic. Soluțiile cu suport la rădăcină (fig. 13.17, *b*) și cu guler (fig. 13.17, *c* și *d*) sînt mai bune sub aceste aspecte, asigurînd și material de rezervă pentru pătrunderea depășită a sudurii. Cele din fig. 13.17, *e*—*g*, oferă și avantaje în ce privește poziționarea relativă a celor două piese.

Un exemplu de sudură cap la cap care ilustrează posibilitățile neconvenționale ale procedeului îl constituie realizarea pînzelor de ferăstrău ca lame bimetalice sudate (fig. 13.18), folosind o instalație de tip cu regim continuu. Procedura asigură un consum redus de oțel special, necesar numai în zona danturii.

b) *Suduri în L.* Ca și în cazul sudurilor cap la cap se preferă soluții (fig. 13.19) care oferă posibilități avantajoase de poziționare și suport la rădăcină.

c) *Suduri în T.* În general, acestea se remarcă prin simplitate. Varianta din fig. 13.20, *a* prezintă, datorită imposibilității de a observa zona rădăcinii, pericolul unei pătrunderi incomplete cu repercusiuni asupra rezistenței mecanice. Cînd accesul în aceste zone este asigurat, se preferă soluțiile din fig. 13.20, *b*—*e*. Variantele din fig. 13.20, *c* și *e* au avantajul aplicării tehnologiei de sudare cap la cap.

d) *Suduri prin suprapunere.* Se utilizează în general la piese cu solicitare mecanică relativ slabă. O suprafață activă mai mare a sudurii și,

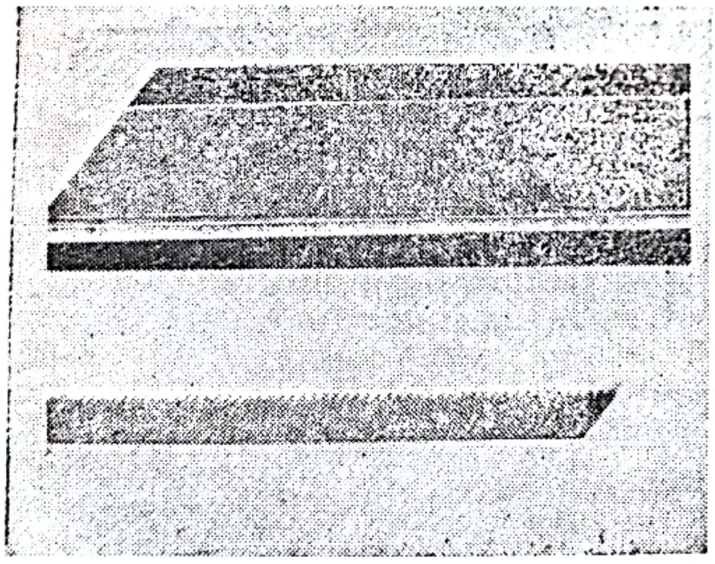
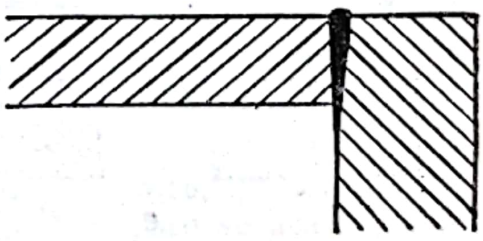


Fig. 13.18. Pînze de ferăstrău bimetalice sudate cu fascicul de electroni.

Fig. 13.19. Tipuri de sudură în L.



deci, o rezistență ceva mai mare, este asigurată de variantele din fig. 13.21, *b* și *c*.

Un exemplu mai deosebit de sudură prin suprapunere, aplicat în țară de Institutul de Cercetare Științifică și Inginerie Tehnologică pentru Industria Electrotehnică din București (ICPE), îl constituie conectarea prin sudură a extremităților conductoarelor la rotoarele disc ale servomotoa-

Scanned with OKEN Scanner

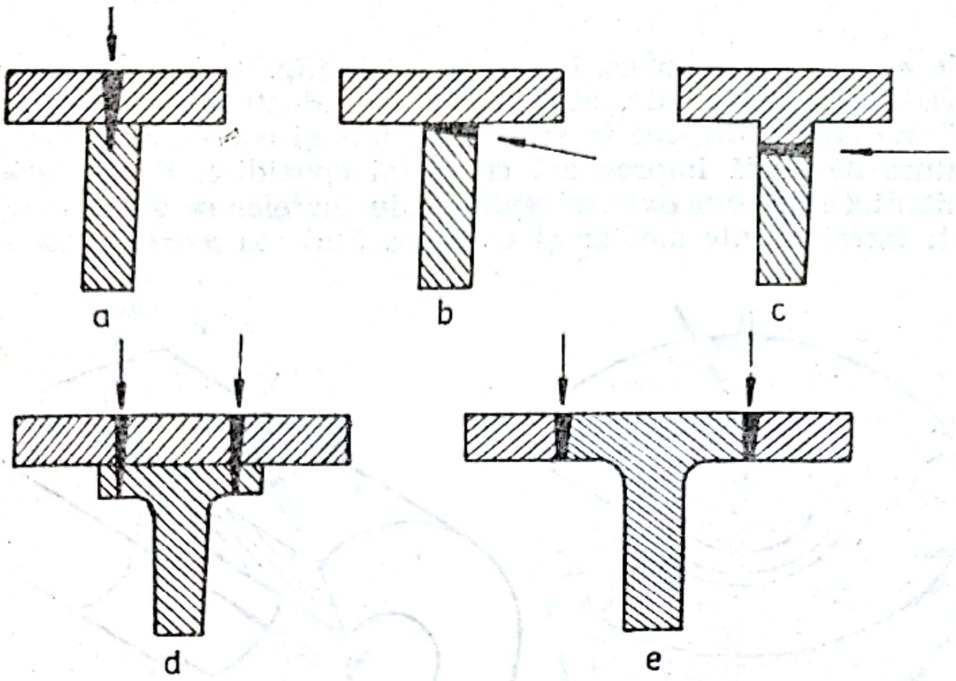


Fig. 13.20. Tipuri de sudură în T.

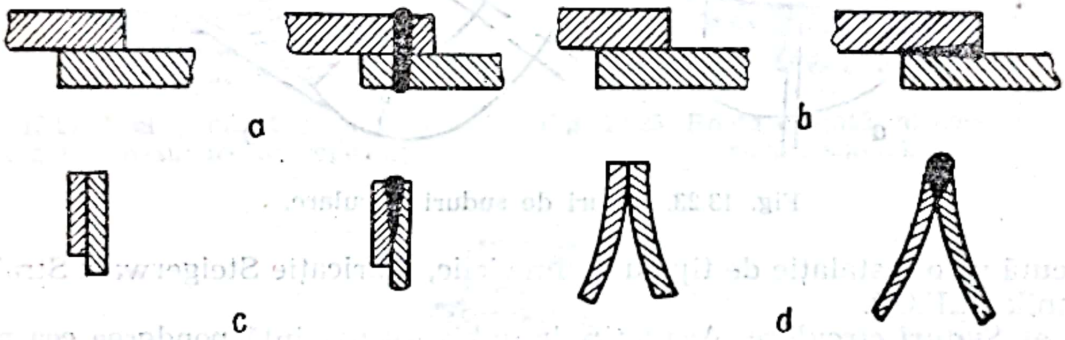


Fig. 13.21. Tipuri de sudură prin suprapunere.

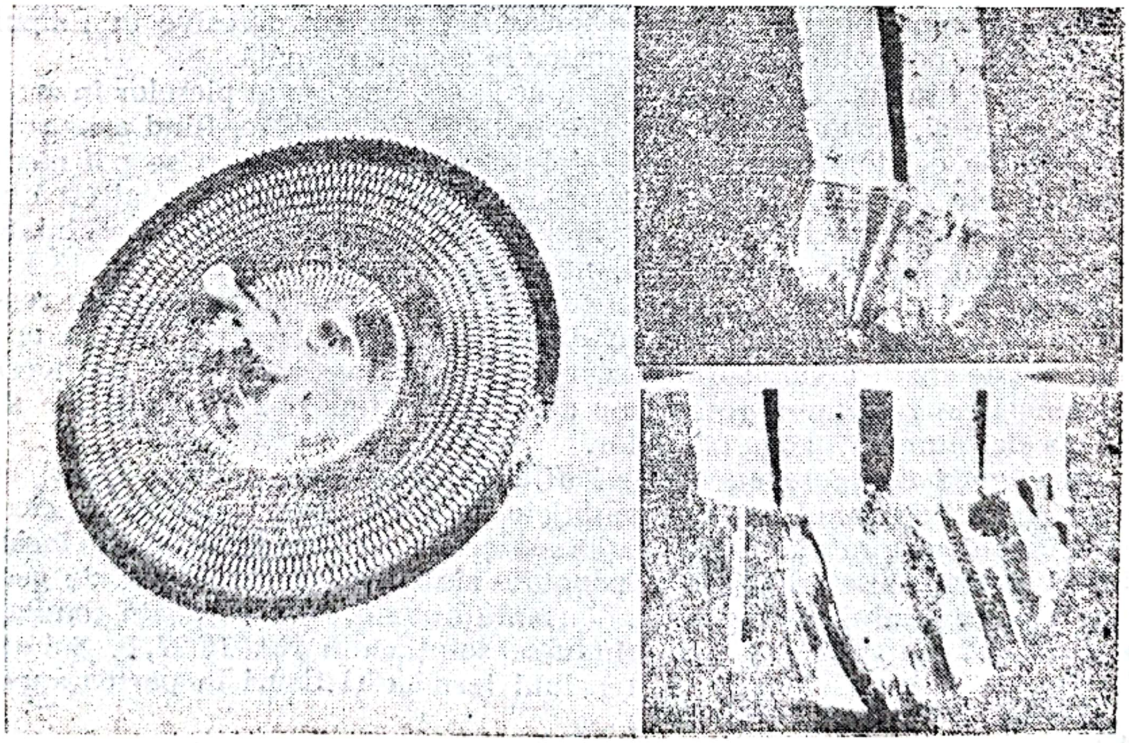


Fig. 13.22. Conexiunile sudate ale extremităților conductoarelor la rotoarele disc.

Scanned with OKEN Scanner

relor de curent continuu cu întrefier axial (fig. 13.22). Aceste rotoare sînt fără jug feromagnetic, alcătuite din conductoare lamelare ștanțate din folie de cupru, dispuse în straturi izolate și consolidate prin rondele de țesătură de sticlă impregnată cu rășini epoxidice. Pentru asigurarea continuității circuitului extremitățile conductoarelor se conectează la trei niveluri: interior, intermediar și exterior. Sudarea acestor conexiuni se

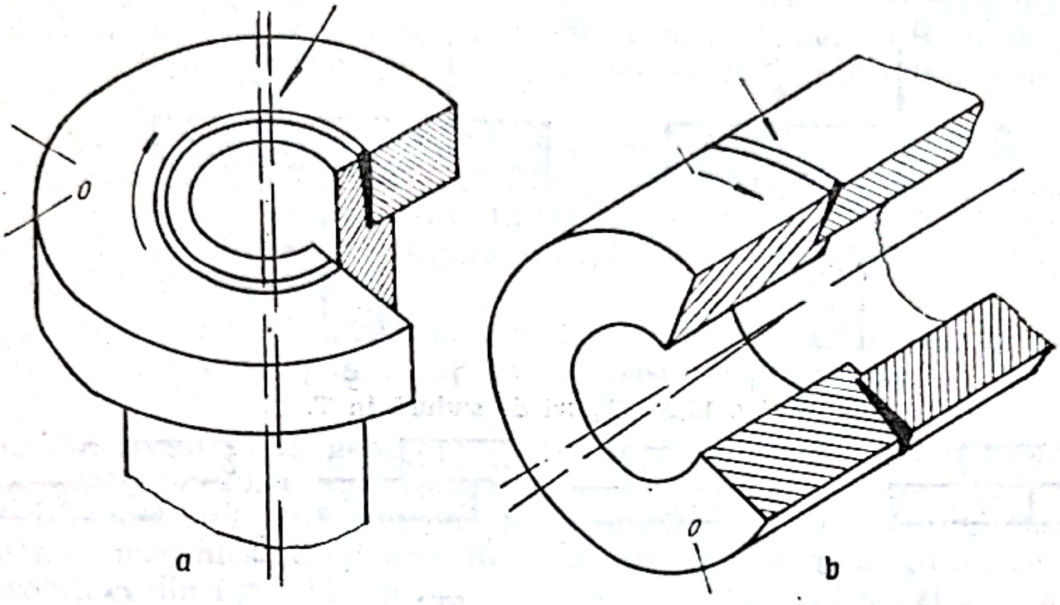


Fig. 13.23. Tipuri de suduri circulare.

execută pe o instalație de tip cu regim ciclic, fabricație Steigerwald Strahltechnik (R.F.G.).

e) *Suduri circulare.* Acest tip de îmbinare prezintă ponderea cea mai mare a aplicațiilor. Se disting două variante, date în fig. 13.23. Sudarea poate determina producerea unor tensiuni termice progresive în timpul operației, cu pericolul apariției fisurilor în zona terminală.

Sudura din fig. 13.23, *a* comportă același diametru al pieselor în zona de îmbinare și, ca urmare, tensiunile termice sînt reduse, fiind asigurată posibilitatea de deformare. Ca exemple de asemenea suduri se pot menționa inelele din fig. 13.24 cu profil exagonal la interior, realizat din segmenți de oțel special sudați pe inelul exterior, precum și roțile dințate cu consum redus de oțel special, numai la nivelul danturii (fig. 13.25).

În varianta din fig. 13.23, *b*, exemple interesante sînt oferite de realizarea grupurilor de pinioane cu dimensiuni axiale reduse (fără a mai fi nevoie de spații axiale suplimentare pentru ieșirea sculelor de așchiere), precum și de realizarea rotoarelor de turbină (fig. 13.26) cu consum de oțel special numai în zona paletelor.

f) *Sudări de piese cu grosimi diferite.* Realizarea acestor tipuri de suduri constituie unul dintre avantajele nete ale procedeului cu fascicul de electroni asupra celor convenționale și derivă din mecanismul încălzirii și topirii pieselor. Soluțiile adoptate sînt diferite, în funcție de geometria ansamblului și destinație. Varianta din fig. 13.27, *a* poate conduce la porozitate la rădăcină, preferîndu-se soluția din fig. 13.27, *b*. Soluția din fig. 13.27, *c* poate prezenta tensiuni termice și fisuri în partea supe-

rioară, mai avantajoasă fiind soluția din fig. 13.27, *d*. În cazul pieselor cu grosimi mult diferite se practică degajări de compensare a fluxului termic (fig. 13.27, *e*), sau piese intermediare prinse definitiv în asamblare (fig. 13.27, *f*).

Particularități ale sudurii în fascicule de electroni. Sub influența fasciculului de electroni se realizează o topire locală a materialului în timp

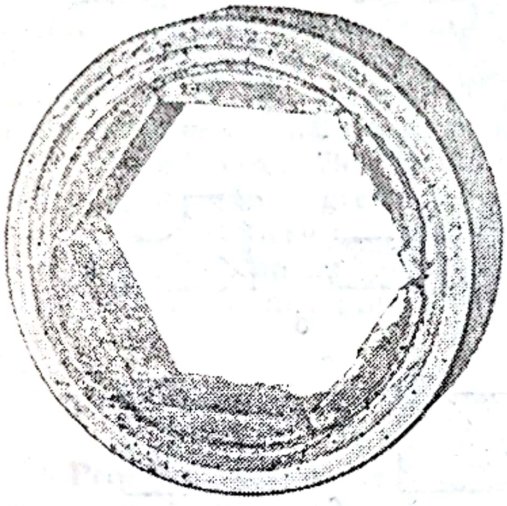


Fig. 13.24. Inel profilat la interior realizat prin sudare de segmenți.

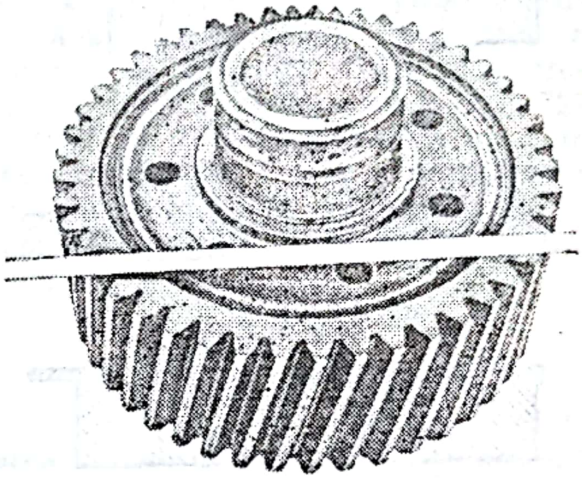


Fig. 13.25. Roată dințată cu coroană exterioară sudată.

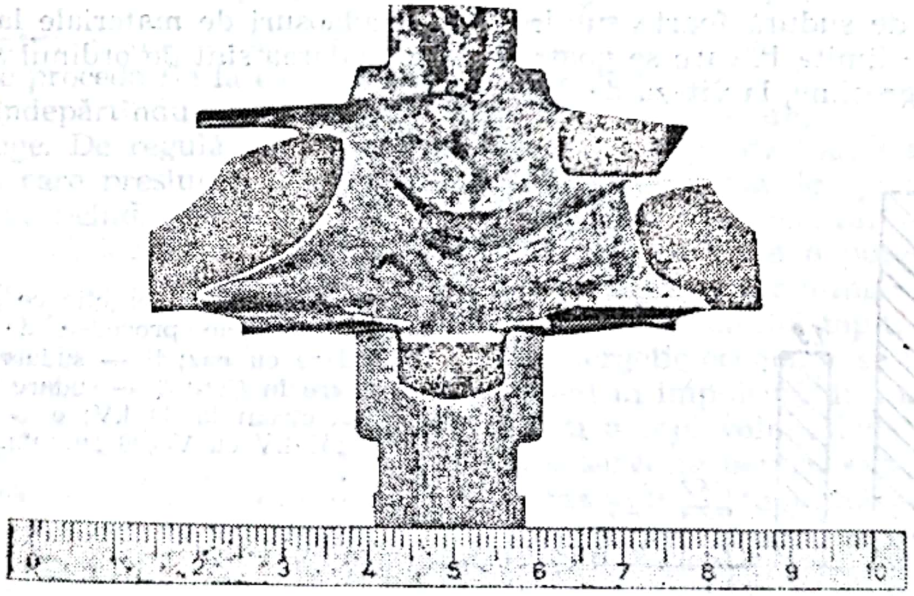


Fig. 13.26. Rotor de turbină.

de 10—100 ms, la diametre ale fasciculului variind de la zecimi de milimetru pînă la cîțiva milimetri. Cantitatea de căldură transmisă de fascicul se localizează pe o porțiune restrînsă a piesei de prelucrat, fără a provoca o încălzire generală a sa, ceea ce are o mare importanță în păstrarea structurii materialului

Scanned with OKEN Scanner

La sudarea în profunzime, un rol deosebit îl joacă formarea unui capilar cu vapori. Fasciculul de electroni produce o plasmă a cărei presiune de vapori menține acest tub, în lungul căruia fasciculul cedează energia sa piesei, înaintarea fiind comparabilă unei sîrme calde ce trece printr-un bloc de ceară.

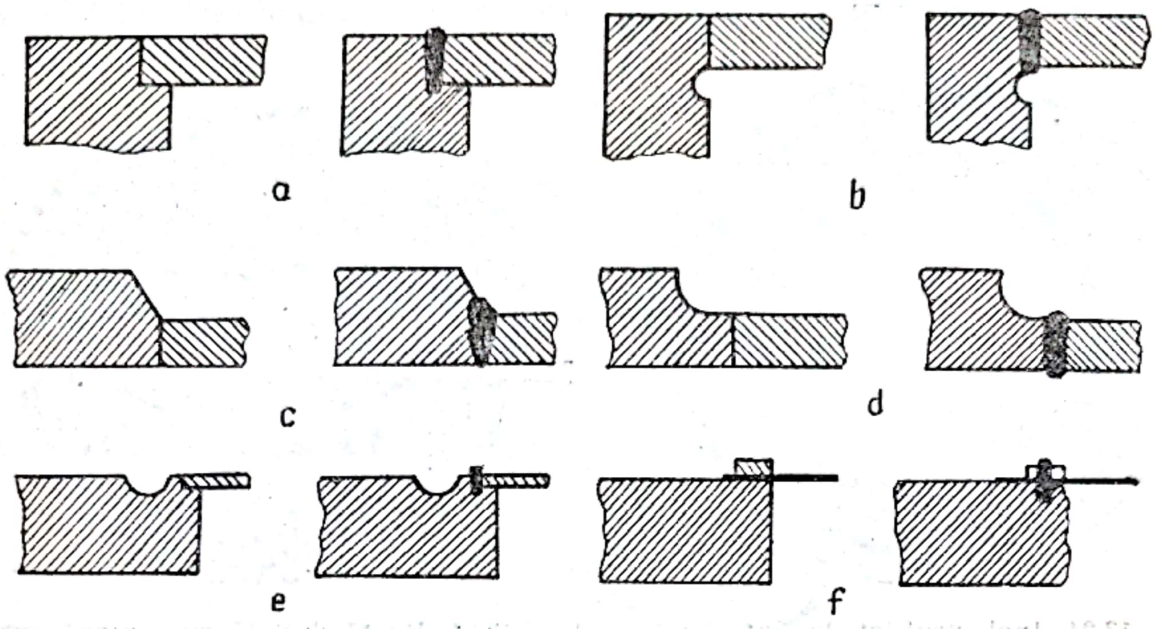


Fig. 13.27. Tipuri de suduri de piese cu grosimi diferite.

Materialul topit se strînge în jurul tubului capilar și se solidifică în cusătura de sudură foarte subțire și fără adaosuri de materiale la capăt. Grosimile limită la care se poate practica sudarea sînt de ordinul a 150—200 mm grosime, la viteza de 20 m/min.

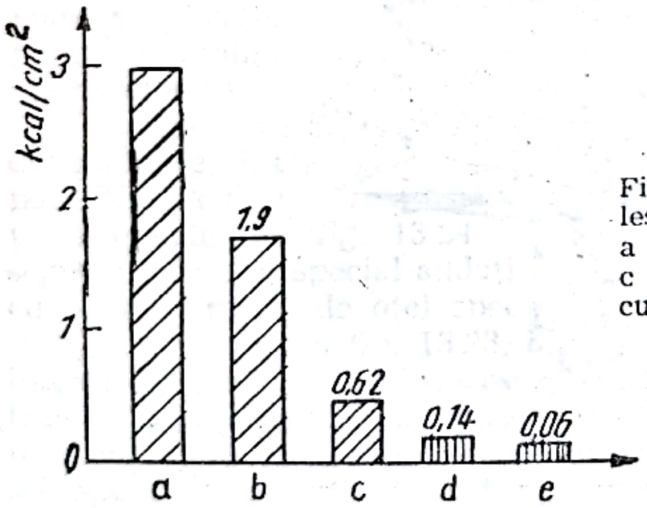


Fig. 13.28. Bilanțul energetic ce se stabilește în diversele procedee de sudare: a — sudare cu gaz; b — sudare cu arc; c — sudare în CO_2; d — sudare cu fascicul de electroni la 30 kV; e — idem la 150 kV cu V=90 cm/min.

Față de metodele clasice, sudarea cu fascicul de electroni oferă profunzimi mai mari de lucru, consum mai mic de energie, finețe, deformare redusă a pieselor, neîncărcarea pieselor. Bilanțul energetic la diversele surse de sudare materializat prin cantitatea specifică de căldură introdusă în piese, raportată la 1 mm grosime a tablei, rezultă din fig. 13.28. Cantitatea redusă de căldură pusă în joc la sudarea cu fascicul de electroni

Scanned with OKEN Scanner

(*d*, *e*), în comparație cu sudarea cu gaz (*a*), arc (*b*) și CO_2 (*c*) este mult redusă. Aproape toate metalele și aliajele lor pot fi sudate prin fascicul de electroni. Metale și aliaje considerate nesudabile, oțelurile înalt aliate cu crom, aliajele de nichel rezistente la temperaturi înalte, aliaje Cu-Al ce pot fi călite, plăci de titan și zirconiu se pot suda prin această tehnică.

Lipsa materialelor de adaos pentru sudură, viteza mare de lucru, energia redusă pusă în joc extind acest procedeu în tot mai variate domenii de activitate. Dacă ar fi să luăm doar domeniul aeronautic, sudarea cu fascicul de electroni a permis să se găsească soluții de utilizare a titanului și, o dată cu aceasta, posibilitatea de reducere a greutății aeronavelor. Date din literatura de specialitate arată că pentru un Boeing 727 se utilizează circa 295 kg titan, repartizat în 2 800 locuri diferite; prin tehnologiile uzuale greutatea ar fi fost cu 15—20 t mai mare. Pentru supersonicele americane aflate în construcție (SST) se prevede structura continuă din titan sudat cu echipamente în fascicul de electroni, structură pentru care altfel ar fi fost nevoie de circa 64 t metal.

3.1.2. Găurirea cu fascicul de electroni

Prezentarea procedeului. Perforarea cu fascicul de electroni este un procedeu de găurire a materialelor avînd la bază fenomenele de topire și de vaporizare, cu desfășurarea extrem de rapidă. Procedeul este aplicabil practic independent de duritatea materialului de prelucrat. Productivitatea de realizare a orificiilor (în unitate de timp) este impresionantă.

Pentru a îndepărta materialul cu ajutorul fasciculului de electroni se poate proceda fie la evaporarea acestuia, fie numai la topire, partea lichidă îndepărtîndu-se cu ajutorul unor forțe exterioare, spre exemplu centrifuge. De regulă însă se folosește o combinație de topire și evaporare, la care presiunea vaporilor reprezintă chiar forța de ejecție a materialului lichid. Așa cum s-a mai arătat, bombardamentul electronic creează orificiul capilar și zona de topire cilindrică. La o putere specifică mare a fasciculului, presiunea vaporilor din capilar atinge astfel de valori încît determină expulzarea explozivă a materialului topit. În vederea optimizării procesului și a unui regim energetic economic se utilizează viteze mari de evaporare prin bombardament în impulsuri. În mare, 75% din energia de impuls este necesară pentru a topi volumul de material care trebuie îndepărtat, iar restul de 25% servește pentru evaporarea a circa 5% din volum. Durata impulsului, respectiv a timpului de impact al fasciculului cu piesa, variază între 10 μ și 10 ms. Pentru ca materialul lichid să fie ejectat în întregime și rapid, rezultînd orificii cu dimensiuni și formă controlată, este necesară corelarea proprietăților fizice (temperatură de vaporizare, difuziune termică, tensiune superficială) și a dimensiunilor materialului de prelucrat cu parametrii fasciculului de electroni (durata impulsului, curentul de fascicul, distribuția energiei în cadrul fasciculului și poziția fasciculului față de piesă).

Dacă forma și dimensiunile dorite ale orificiului nu pot fi realizate printr-un singur impuls, se aplică o tehnică de găurire cu mai multe impulsuri. Se procedează la devierea fasciculului și variația distanței fo-

Scanned with OKEN Scanner

cale cu frecvențe între 50 și 1 000 cicluri pe secundă. Pentru a obține formele dorite ale orificiului sînt necesare sute pînă la mii de impulsuri.

O variantă a procedeului se bazează pe fenomenul de sublimare. Prin creșterea puterii specifice a fasciculului de electroni se realizează transformarea directă de la solid la faza gazoasă. Pentru a evita formarea de lichid topit datorită conductivității termice a materialului se fo-

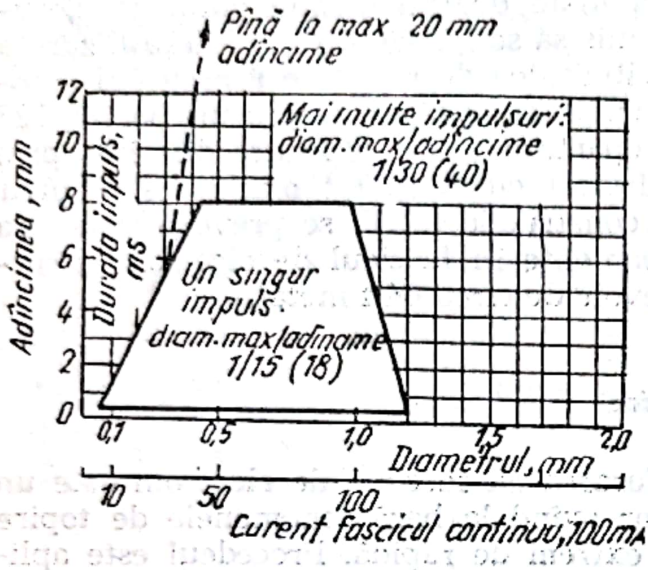


Fig. 13.29. Diametrele posibile ale orificiilor la perforarea cu fascicul de electroni.

losesc durate de impuls extrem de mici, obținute prin pulsarea cu frecvență mare a fasciculului și prin mișcarea rapidă a piesei față de fascicul. Puterea specifică a fasciculului de electroni în pata focală utilizată la tehnologia de perforare este de ordinul a 10^6—10^8 W/cm². În figura 13.29

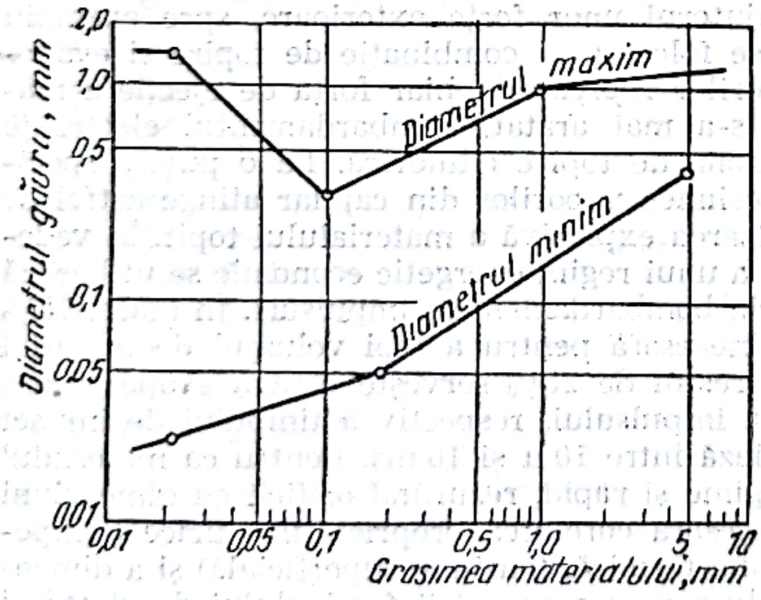


Fig. 13.30. Relația diametru-adîncime pentru orificiile executate prin perforare cu fascicul de electroni, în aliajele pe bază de nichel.

este prezentată, în principiu, pentru orificii cilindrice, corelarea între valorile dimensionale, diametru-adîncime și curentul fasciculului.

În fig. 13.30 este prezentată, mai concret, pentru aliaje pe bază de nichel, corelarea între diametrele și adîncimile posibile ale orificiilor obținute prin perforare cu fascicul de electroni.

Scanned with OKEN Scanner

Deosebit de impresionant este numărul mare de orificii în unitatea de timp care se pot obține prin acest procedeu. Astfel fig. 13.31 se referă la relația între viteza de perforare și grosimea materialului, pentru diferite valori ale diametrului orificiilor. Se observă că pentru o grosime a materialului de 0,5 mm se pot realiza 110 găuri/secundă pentru diametre de 1 mm, ajungînd la 1 000 găuri/secundă pentru diametre de 0,1 mm.

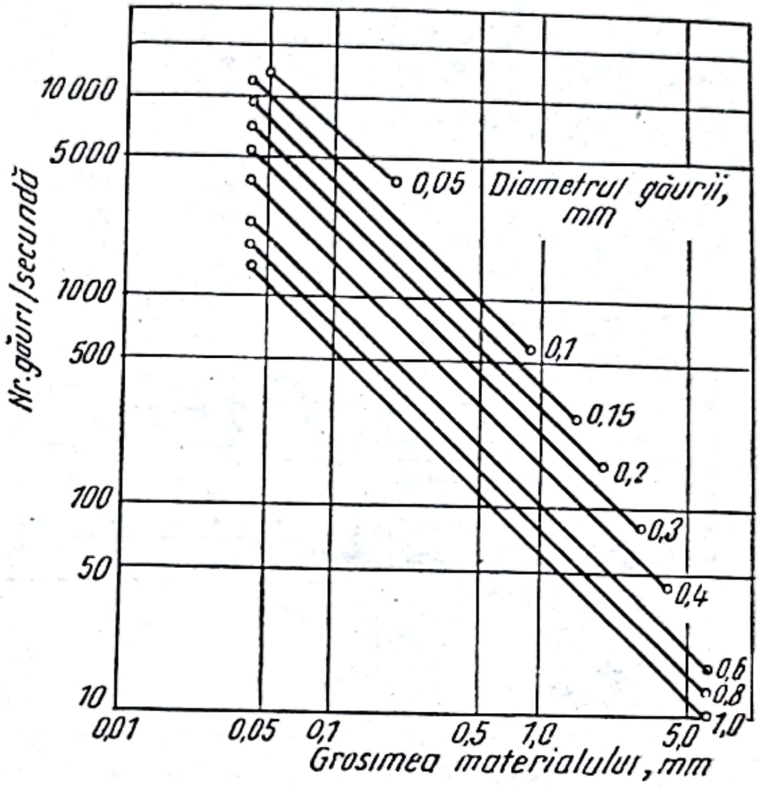


Fig. 13.31. Viteza de perforare cu fascicul de electroni în funcție de grosimea materialului și diametrul orificiilor.

Pentru a realiza aceste viteze mari de perforare este necesar ca piesa să fie mișcată sub fascicul cu o viteză suficient de mare, iar distanța între orificii să fie suficient de mică. Operația propriu-zisă de perforare fiind foarte rapidă, nu este necesar ca mișcarea piesei să fie oprită în timpul aplicării impulsului.

În ce privește precizia dimensională a orificiilor realizate prin perforare cu fascicul de electroni, în general, abaterile față de diametrul nominal, pentru materiale omogene, nu depășesc $\pm 5\%$. Rugozitățile realizate sînt de ordinul a 5 μm.

Echipamente de perforare cu fascicul de electroni. Principial nu există deosebiri esențiale între echipamentele cu fascicul de electroni pentru perforare, față de cele pentru sudare. Se iau măsuri constructive, pe de o parte la nivelul tunului de electroni pentru asigurarea posibilității de comandă în impulsuri a fasciculului (curentului de fascicul), iar pe de altă parte, la nivelul camerei de lucru, pentru ca sistemul de vidare să fie capabil să elimine vaporii de material care se degajă în timpul procesului. Fasciculul de electroni este în cazul găuririi o sculă, dar o sculă care nu se uzează, forma orificiilor fiind identică în timp.

Caracteristic pentru procedeu este faptul că singurul sistem adecvat pentru a ține sub control procesul de perforare la nivelurile de producti-

Scanned with OKEN Scanner

vitate prezentate este comanda numerică. Aceasta oferă și flexibilitatea necesară cu privire la modificarea cu ușurință a parametrilor fasciculului și ai deplasării mecanice a piesei care sînt controlate împreună, inclusiv compensarea automată a deviațiilor posibile de natură mecanică prin reglarea fasciculului.

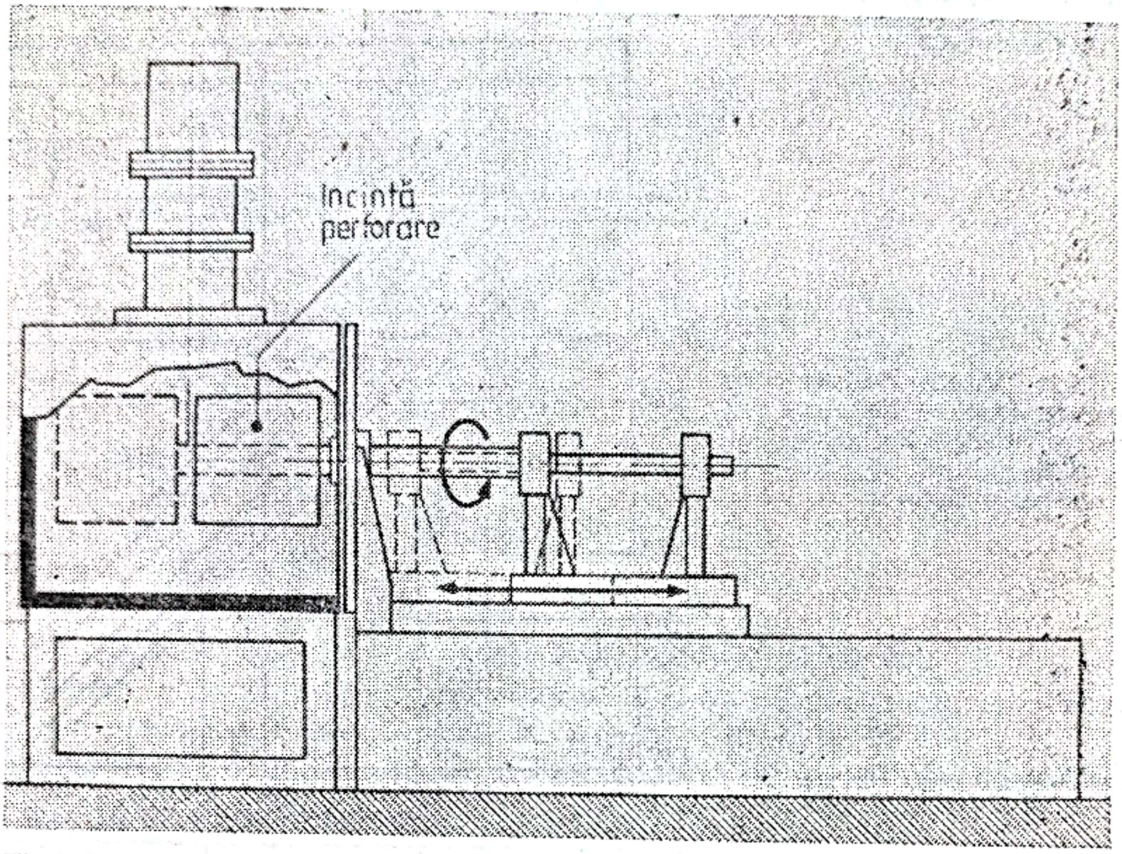


Fig. 13.32. Echipament de perforare cu fascicul de electroni cu tambur rotitor.

Deplasarea piesei de prelucrat se realizează prin unul dintre următoarele sisteme (întîlnite și la sudarea cu fascicul de electroni):

— deplasarea în coordonate x—y;

— deplasarea circulară sau pe elice în sistem tambur rotitor;

— deplasarea cu manipulator special cu axă multiplă.

Pentru exemplificare, în fig. 13.32 este prezentat schematic un echipament cu tambur rotitor.

În majoritatea cazurilor piesele care se perforează sînt în mișcare de rotație continuă în timpul procesului. Pentru a preîntîmpina pericolul unor forme eliptice ale orificiilor, datorită deplasării piesei față de fasciculul de electroni, acesta se deviază simultan, corelat sincron cu viteza de rotație la suprafața piesei pe durata impulsului, iar pentru perforarea orificiului următor se readuce în poziția inițială.

Tipuri de orificii perforate. Exemple. Tipurile caracteristice de orificii perforate cu fascicul de electroni cu un singur impuls, în materiale metalice, sînt date în fig. 13.33: conice; cilindrice; cilindrice adînci; în formă de clopot.

Scanned with OKEN Scanner

Orificiile cilindrice se caracterizează la partea de intrare în material printr-o rotunjire a muchiei în formă de pîlnie (fig. 13.33 și 13.34). Forma tipică a orificiilor, în secțiune transversală, este circulară (fig. 13.35). La perforări în materiale de grosime relativ mică sînt posibile și secțiuni transversale eliptice (fig. 13.36 — perforare longitudinală).

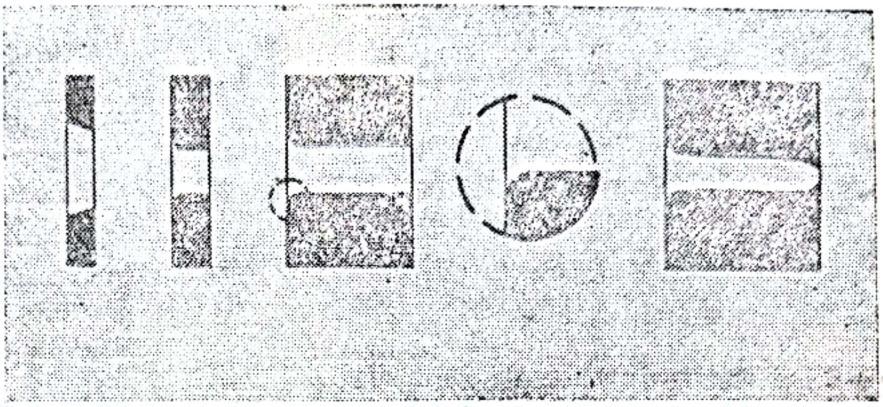


Fig. 13.33. Forme caracteristice de orificii perforate cu fascicul de electroni.

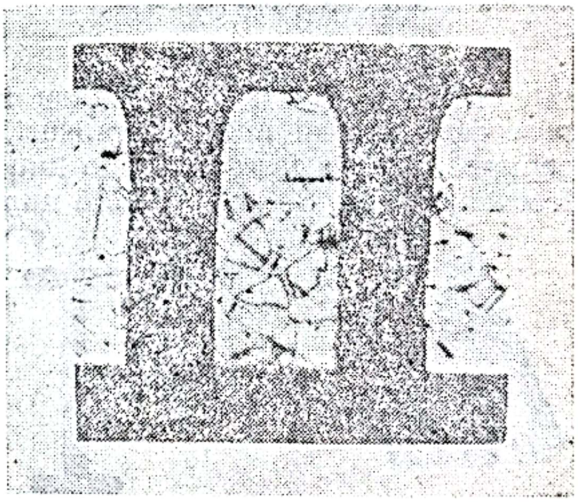


Fig. 13.34. Orificii cilindrice cu intrare în formă de pîlnie în aliaj Nimonik 90 cu grosime 0,4 mm, obținute prin tehnica fasciculului de electroni cu un singur impuls (50 μs). Secțiune.

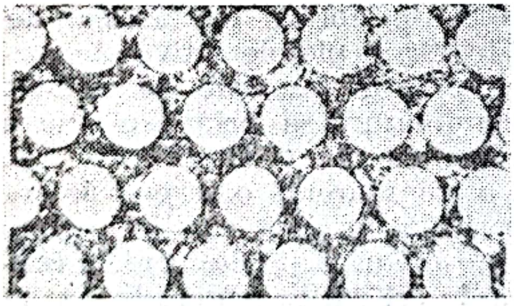


Fig. 13.35. Orificii circulare perforate în folie de oțel V2 A, grosime 0,1 mm, diametrul orificiilor 0,2 mm, viteză de operare 3000 perforații/secundă.

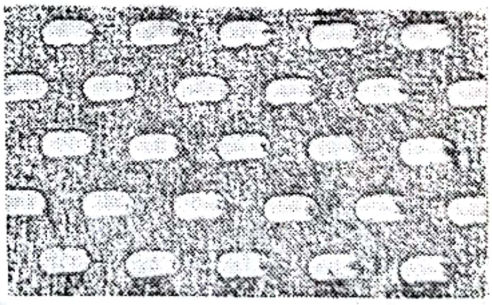


Fig. 13.36. Orificii eliptice, grosime material 0,5 mm, axa mare a orificiilor 0,6 mm.

În fig. 13.37 este prezentată în secțiune o perforare cu fascicul de electroni în mai multe impulsuri (datorită dimensiunilor relativ mari ale piesei).

Scanned with OKEN Scanner

Procedeul de perforare cu fascicule de electroni permite realizarea de orificii înclinate față de suprafața piesei (fig. 13.38). Există posibilitatea ca unghiul sub care fasciculul lovește ținta să fie variat între 20° și 90° față de suprafață.

În sfîrșit trebuie amintită posibilitatea de realizare prin perforare cu fascicul de electroni a unor orificii cu secțiune transversală diferită de

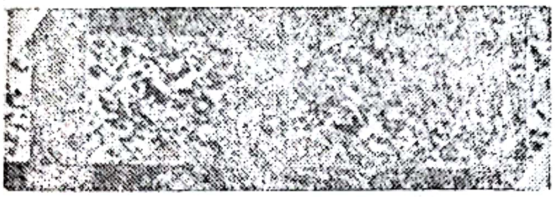


Fig. 13.37. Orificiu cilindric realizat prin procedeul cu mai multe impulsuri, material Inconel 600, grosime 1,5 mm diametrul orificiului 0,6 mm. Secțiune.

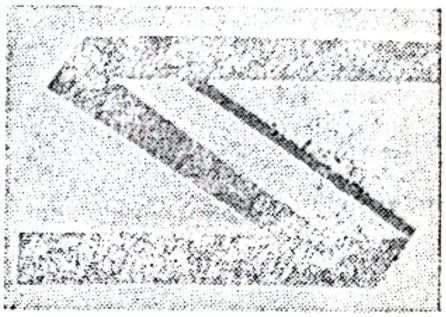


Fig. 13.38. Secțiune prin perforațiile unei palete de turbină, diametrul orificiilor (0,5 și 0,2 mm, unughiul de perforare 45°.

cea circulară (fig. 13.39). Pentru realizarea formei dorite se utilizează procedeul cu mai multe impulsuri, la care, prin comandă numerică, se schimbă direcția fasciculului în lungul conturului prescris, cu impulsuri de frecvență mare. Se pot prelucra numai pereți verticali.

Fig. 13.39. Orificii cu secțiune transversală diferită de cea circulară, realizate prin perforare cu fascicul de electroni.

Dintre cele mai importante aplicații ale perforării cu fascicul de electroni sînt de menționat: realizarea orificiilor în piesele active ale turbinelor cu gaz, pentru răcire, injecție și pentru absorbție de zgomot (fig. 13.40); realizarea perforațiilor pentru înlăturarea prin aspirație a straturilor limită; realizarea perforațiilor pentru site și filtre ca în fig. 13.41 este singurul procedeu care asigură o transparență corespunzătoare la grosimi relativ mari; pentru a reduce pericolul ca sitele și filtrele să se obtureze cu reziduuri, se preferă în anumite cazuri orificiile conice; realizarea prin perforare a duzelor; realizarea de orificii în materiale superrezistente la temperatură, de înaltă rezistență mecanică și refractare, spre exemplu capetele de filiere pentru fibrele de sticlă (fig. 13.42).

O aplicație de perforare cu fascicul de electroni, diferită de cele prezentate mai înainte, o constituie realizarea porozității la pielea artificială (pentru a o face permeabilă la umezeală și aer). Se realizează printr-o perforare fină a suprafeței de plastic (fig. 13.43). Tratată astfel, pielea artificială poate fi folosită pentru confecționare îmbrăcăminte, încălțăminte și tapiserie.

Scanned with OKEN Scanner

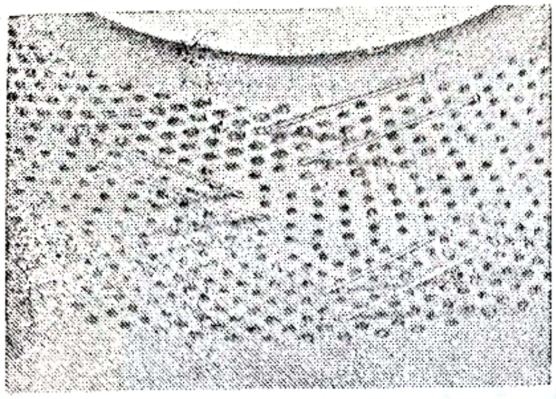


Fig. 13.40. Perforații ale unui injector de turbină cu gaz, cu unghi variabil (material: aliaj de titan, diametre 0,3 mm).

Fig. 13.41. Tambur filtru perforat cu înaltă transparentă, material oțel V2 A, grosime material 0,1 mm, diametrul orificiilor 0,2 mm.

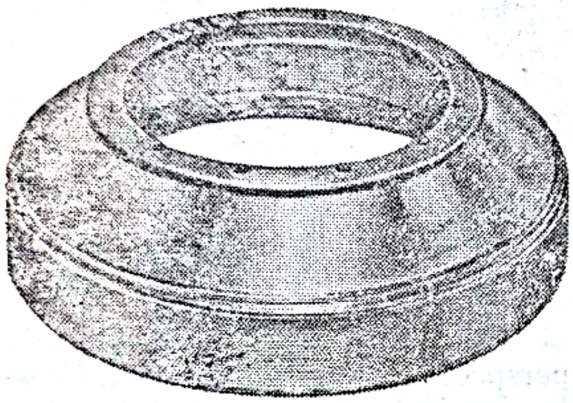


Fig. 13.42. Cap de filieră pentru fibre de sticlă, diametrul 200 mm, grosime 3 mm, 6000 orificii de 0,8 mm, viteză de perforare 20 orificii pe secundă.

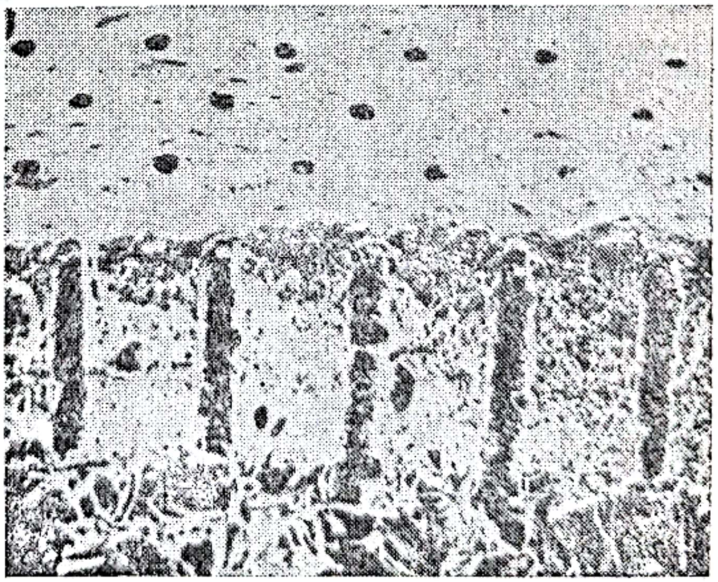


Fig. 13.43. Perforații în piele artificială (diametrul capilarelor de 120 μm; frecvență 5000 orificii/secundă).

Scanned with OKEN Scanner

3.1.3. Gravarea cu fascicul de electroni

Tehnica de gravare cu fascicul de electroni este înrudită îndeaproape, de fapt derivată ca utilaje și procedeu de lucru, de tehnica de perforare. Se pot evidenția următoarele variante de gravare:

Gravarea în metal. Se aplică în tipografii și anume la metoda tiparului adînc, unde pînă nu demult se utilizau numai procedee chimice și

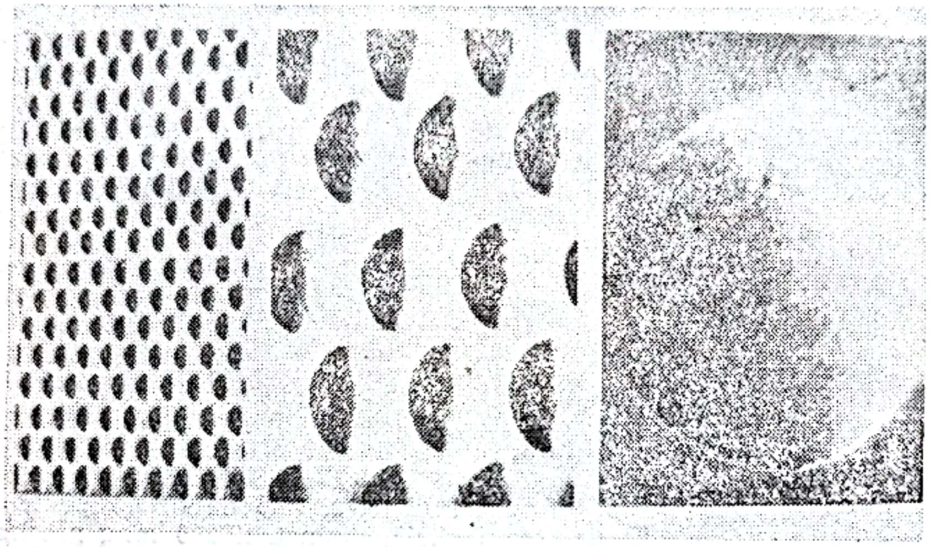


Fig. 13.44. Tipar adînc. Suprafața cilindrului de cupru este gravată cu adînciturі de 70—120 μm diametru și 5—30 μm adîncime.

mecanice de gravare. Înalta precizie și viteza cu care se poate comanda fasciculul de electroni a deschis noi perspective în acest domeniu. Crestăturile, adînciturile mici (fig. 13.44) care se practică pe suprafața cilindrului de tipărire și care se umplu cu cerneală variază în diametru și adîncime, în funcție de cît de deschisă sau închisă este culoarea în zona respectivă. Procedeul se pretează la comandă de la distanță prin instrucțiuni specifice codificate numeric, deschizînd noi perspective în ce privește reproducerea rapidă a imaginilor.

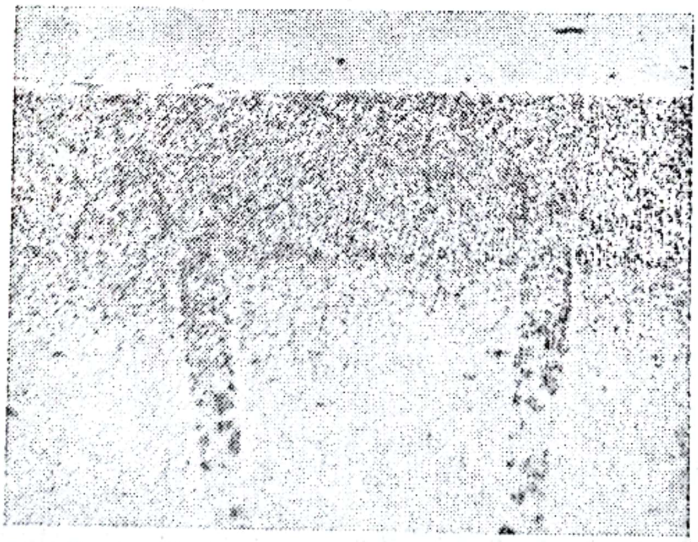


Fig. 13.45. Ceramică „verde" cu canale gravate (lățime 100 μm, viteză 10 m/s).

Gravarea materialelor ceramice. Procedeul se aplică în industria electronică, în special a calculatoarelor, pentru realizarea de structuri de circuite cît mai fine și mai compacte cu înaltă productivitate (fig. 13.45). Plăcile subțiri gravate sînt puse împreună, canalele fine sînt

Scanned with OKEN Scanner

umplute cu pastă metalică, iar modulul este ars, rezultînd un sistem tridimensional de conductoare.

Gravarea straturilor depuse prin vaporizare. Se referă la folosirea tehnicii gravării cu fascicul de electroni pentru descrierea circuitelor electronice hibride, fig. 46.

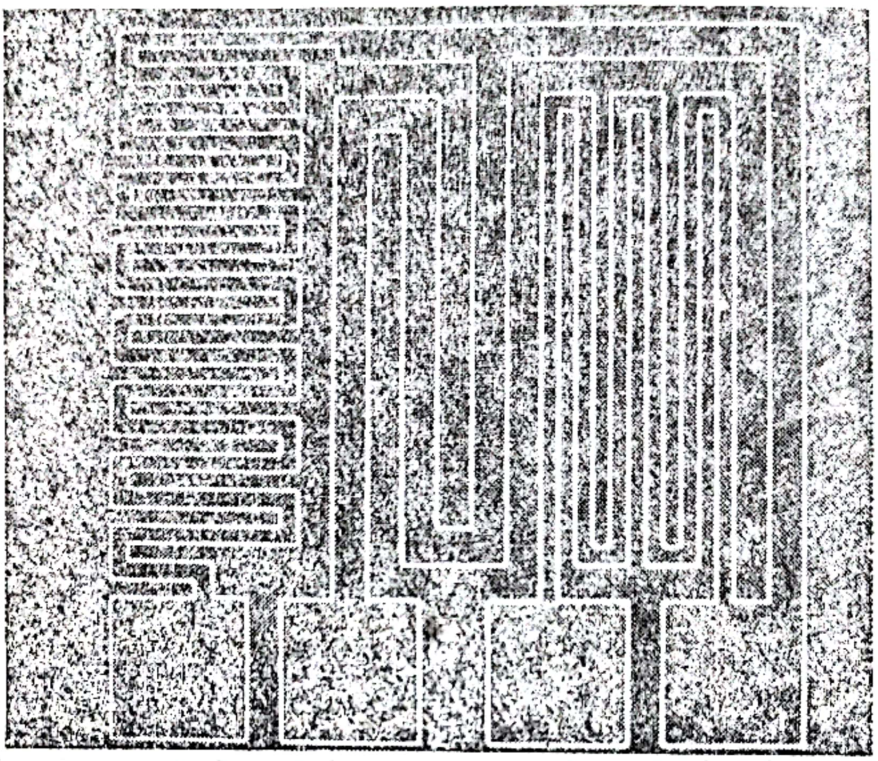


Fig. 13.46. Circuit hibrid gravat cu lățimea trasării 40 μm, viteza de lucru mai mare de 5 m/s.

Prin gravare se îndepărtează, după un traseu comandat, materialul rezistiv — spre exemplu tantal —, depus pe un strat de sticlă.

3.1.4. Tratamentul termic superficial al metalelor cu fascicul de electroni

Tratarea termică superficială este o tehnologie de importanță deosebită în tehnică, utilizată pentru îmbunătățirea proprietăților de suprafață ale unor piese metalice supuse unor condiții de exploatare specifice.

Utilizarea fasciculului de electroni în acest domeniu aduce, față de procedeele devenite convenționale ale acestei tehnologii, noutăți și avantaje nete în ce privește eficiența, calitatea și productivitatea.

În principal, se deosebesc două tipuri de procedee de tratament termic superficial al pieselor metalice cu fascicul de electroni:

— transformarea structurii superficiale în stare solidă, aplicabilă la materiale feroase călibile;

Scanned with OKEN Scanner

— tratamente superficiale cu topire, respectiv cu succesiunea de stări solid-lichid-solid, urmărind o structură cu proprietăți îmbunătățite sau chiar cu compoziție modificată prin materiale de adaos.

Aceste două procedee sînt posibile datorită efectelor termice, prezentate anterior, ale bombardamentului electronic asupra suprafeței materialelor metalice, care determină, în funcție de energia utilizată, fie numai o încălzire locală, fie un proces de topire, cu influențe pe o anumită adîncime (fig. 13.47).

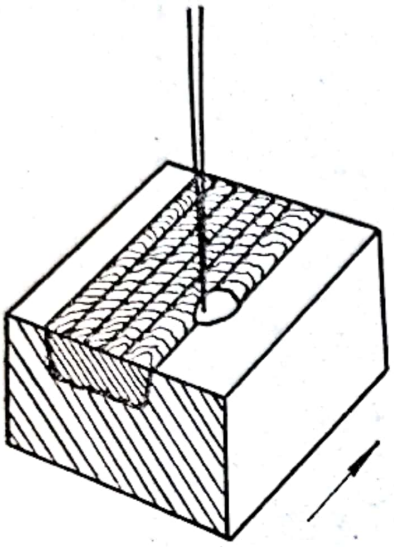


Fig. 13.47. Tratament de topire superficială cu fasciculul de electroni.

Folosind utilaje cu fascicul de electroni de tipul celor prezentate la tehnologiile de sudare și perforare, prin corelarea mișcării piesei de tratat în camera de lucru cu sistemele de baleaj și de reglare a puterii fasciculului de electroni, se pot influența termic porțiuni bine precizate ale suprafeței piesei. Mai mult, este posibilă alternarea părților tratate și netratate (spre exemplu, în spirală la piese cilindrice, în rînduri sau careuri la piese plane), ceea ce permite o îmbinare a noilor proprietăți ale suprafeței cu proprietățile normale ale materialului de bază (spre exemplu suprafață cu porțiuni durificate, rezistente la uzură alternate cu porțiuni caracterizate de elasticitatea materialului de bază).

La călirea superficială cu fascicul de electroni suprafața piesei este adusă, pentru scurt timp, la temperatura de călire, cu o pătrundere bine determinată în materialul de bază neîncălzit. Este caracteristică desfășurarea rapidă a proceselor, cantitatea redusă de energie și delimitarea exactă a zonei tratate. Un avantaj deosebit constă în faptul că pot fi călite superficial și porțiuni practic inaccesibile pentru alte procede (de exemplu fundul alezajelor).

Tratamentele superficiale cu topire se utilizează pentru piese din aliaje la care formarea structurii este puternic influențată de viteza de solidificare. În cele mai multe cazuri se urmărește creșterea rezistenței superficiale la uzură. O variantă importantă a procedeului îl constituie tratamentul de topire superficială la care se introduc elemente suplimentare de aliere, realizînd structuri de soluție solidă sau legături intermetalice (de exemplu cu introducere de aluminiu, titan, nichel). În acest scop, materialul de bază se acoperă superficial cu materialul de adaos, fie sub formă de folie, fie prin depunere galvanică sau prin pulverizare, după care, prin bombardament electronic, se topește ansamblul pînă la o adîncime determinată, urmat de solidificarea rapidă.

3.1.5. Topirea cu fascicul de electroni a materialelor metalice

La această electrotehnologie energia termică rezultată la bombardamentul metalului de topit cu fasciculul de electroni este utilizată pentru topirea masei de metal, în vederea obținerii de lingouri sau semi-

Scanned with OKEN Scanner

fabricate. Faptul că se poate realiza o mare densitate de putere și că reglajul tunurilor de electroni poate fi făcut cu mare precizie, motivează spectrul larg de aplicație al cuptoarelor de acest gen, numai firma Haereus, avînd pînă la nivelul anului 1986, peste 1 500 utilaje montate. Utilajele folosite sînt cunoscute sub denumirea de cuptoare cu fascicul de electroni și diferă constructiv de cele prezentate în capitolele anterioare.

Aceste cuptoare cu puteri de 30—1 200 kW, echipate cu tunuri de electroni de puteri unitare 50—600 kW, permit obținerea metalelor greu fuzibile și active din punct de vedere chimic (zirconiu, molibden, wolfram, tantal, niobiu, ș.a.) la un grad mai ridicat de puritate decît cel asigurat cu alte procedee (cuptoare electrice cu arc în vid). Încălzirea cu fascicul de electroni se utilizează atît pentru topire, cît și pentru încălzirea în volum a masei de metal. Pot fi dezvoltate în egală măsură, utilizînd același procedeu: topiri zonare, turnări de precizie, prelucrări de blocuri de Nb, Ta, solidificări controlate, „distilări" și purificări, tratamente speciale.

Comparativ cu alte tehnologii convenționale, topirea metalului cu fascicul de electroni creează mari avantaje după cum urmează: costurile de investiții, deși ridicate, sînt acceptabile pentru procese continue și de mare capacitate; în cele mai multe cazuri, consumurile energetice pentru aceeași greutate de lingou sînt mai mici decît cele asigurate prin tehnologiile clasice; calitatea este în toate cazurile net superioară.

Dintre cele mai reprezentative performanțe ale ultimilor ani se pot menționa lingouri de titan sau oțeluri speciale, de greutate pînă la 10 t și lungimi pînă la 1 200 mm.

În fig. 13.48 sînt prezentate, schematic, cîteva incinte de topire utilizînd unul sau două tunuri de electroni. În orice caz trebuie precizat că

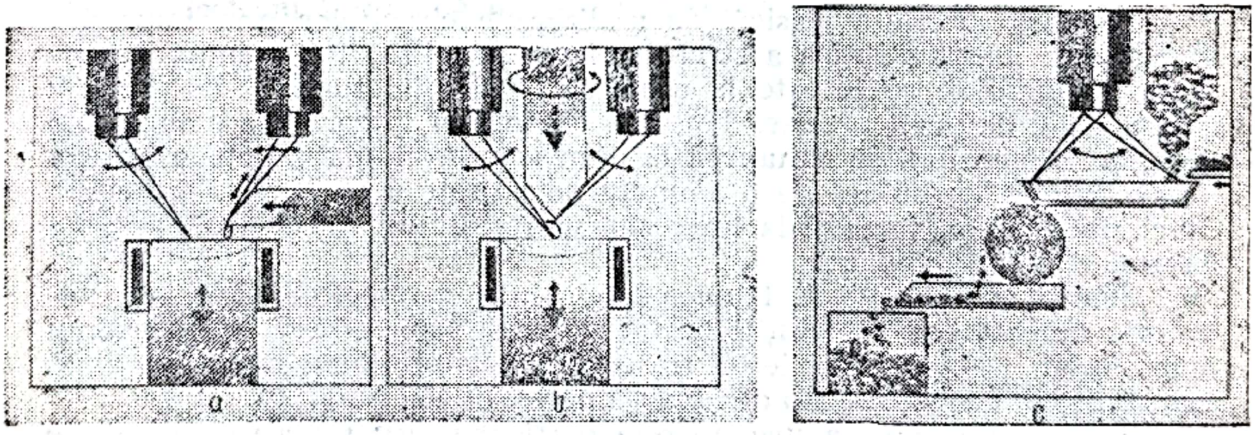


Fig. 13.48. Operații executate într-un cuptor cu fascicol de electroni: *a* — turnare lingou; *b* — turnare de precizie; *c* — peletizare.

imaginea de cuptor diferă de cele convenționale, acestea avînd în general forma unor creuzete de formă specifică procedeului.

Pentru ca difuzia și nivelul energetic să fie în limitele necesare procedeului, vidul în interiorul instalației este de $10^{-3}...10^{-4}$ torr. Solidificarea metalului are loc la contactul cu creuzetul de cupru răcit cu apă. Funcție de necesități, pentru puteri specifice mari ($10^4...10^5$ W/cm^2), se pot utiliza mai multe surse de electroni pentru același cuptor.

Scanned with OKEN Scanner

3.2. Electrotehnologii bazate pe alte efecte decît cele termice ale fasciculului de electroni asupra materialului bombardat

Electrotehnologiile cu fascicul de electroni care au în vedere alte fenomene decît cel al transformării energiei cinetice a electronilor în energie termică se bazează, în principal, pe modificări de natură chimică la nivelul zonei de impact cu materialul bombardat.

Un capitol special vizînd procesele de interacţie a electronilor cu materia (procese de reticulare, polimerizări, sterilizare, de uscare a lacurilor) este tratat separat, dat fiind complexitatea şi specificitatea fenomenelor.

În cele ce urmează vor fi prezentate doar cîteva procedee cu un caracter mai particular ca destinaţie, dar deosebit de importante pentru microelectronică.

Impresionarea straturilor sensibilizate (rezist electronic). Aplicaţie principală şi spectaculoasă totodată, ea derivă din necesităţile acute ale tehnicilor contemporane pentru un nivel tot mai ridicat al miniaturizării componentelor caracteristice microelectronicii şi microacusticii, respectiv al integrării în dimensiuni minime a unor circuite electronice de mare complexitate (ceea ce le asigură viteză de răspuns maximă la o putere absorbită minimă). Pe lîngă putere, parametri limită de funcţionare şi viteză mare de lucru a tranzistoarelor pentru aceste circuite care se realizează pe substrat de siliciu (cipuri), miniaturizarea şi un control adecvat asigură şi diminuarea posibilităţii de a surprinde pe o plăcuţă de siliciu discontinuităţi ale reţelei cristaline, cu consecinţe grave asupra funcţionării tranzistoarelor corespondente.

Tehnica, devenită clasică, de realizare a circuitelor prin impresionarea prin metode optice a stratului fotosensibilizat ce se aplică pe suprafaţa siliciului, se loveşte la acest nivel al miniaturizării de limitele posibile ale definirii precise. Trasarea circuitului integrat pe o suprafaţă de mari dimensiuni şi reducerea la dimensiunile miniaturizate prin procedee fotografice suferă de o anumită neclaritate a marginilor traseelor. Neclaritatea se agravează la impresionarea stratului fotosensibil datorită efectelor de difracţie.

Soluţia este oferită de tehnica fasciculului de electroni, care prin rezoluţia ridicată şi posibilităţile de focalizare şi baleere precise, de ordinul micronului, permite descrierea traseelor predeterminate pe o suprafaţă sensibilizată, cunoscută sub denumirea de *rezist electronic*.

Procedeul comportă următoarele particularităţi: putere de rezoluţie ridicată; comoditatea operaţiilor de reglare, ceea ce asigură posibilitatea de automatizare, fără dificultăţi deosebite; posibilitatea de a se declanşa anumite reacţii chimice la nivelul substratului, ceea ce nu era posibil la utilizarea fasciculului de lumină.

Se remarcă posibilitatea tehnologică, prin care cu fasciculul de electroni se înscriu direct traseele circuitului integrat pe plăcuţe de siliciu sensibilizat, urmînd operaţiile de decapare, dopare, izolarea oxidului, interconectările etc. Dezavantajul constă în aceea că pentru a parcurge fiecare cip cu fasciculul de electroni de mare fineţe (determinată de înalta precizie) este necesară o durată de timp relativ mare.

Scanned with OKEN Scanner

Pornind de la aceasta, s-a dezvoltat și procedeul de a descrie cu fasciculul de electroni o mască sensibilizată, care ulterior, după prelucrare, să fie utilizată la imprimarea pe mai multe plăcuțe de siliciu printr-un bombardament global electronic sau chiar cu fascicul de ioni (aleși corespunzător pentru doparea siliciului).

Pe de altă parte, pentru mărirea productivității variantei de trasare directă s-au dezvoltat tehnici cu mai multe fascicule de electroni care funcționează simultan.

Pentru a elimina dezavantajul întîlnit la trasarea directă de deteriorare a structurii cristaline a siliciului în urma bombardamentului electronic se utilizează variante cu măști înscrise cu fascicul de electroni și cu impresionare globală a stratului sensibilizat de pe plăcuțele de siliciu, prin iradiere cu radiații X.

Pentru impresionarea straturilor sensibilizate cu fascicul de electroni se utilizează de preferință un spot de formă rectangulară — conferă avantaje în ce privește nivelul de diferențiere al muchiilor —, cu mărimea laturii reglabilă între 0,1 și 10 μm. Astfel, procedeul permite descrierea (trasarea) unor structuri ale circuitelor la nivel submicrometric.

Utilajele cu fascicul de electroni folosite în acest domeniu prezintă față de cele de la aplicațiile prezentate în § 3.1 un nivel mult mai pretențios în ce privește rezoluția și precizia de deplasare ale fasciculului. Sînt complet automatizate, iar comanda este asigurată prin calculator.

La nivelurile de miniaturizare și precizie menționate, deflexia și focalizarea fasciculului de electroni întîmpină dificultăți, manifestate prin aberații ale spotului, respectiv lățime variabilă a acestuia în funcție de unghiul de deflexie. Din acest motiv se procedează în anumite cazuri la menținerea fasciculului, pe cît posibil, nemișcat și la deplasarea suportului piesei bombardate. Sistemul comportă însă un nivel ridicat de complexitate al părții mecanice.

Pentru poziționarea precisă a fasciculului de electroni în raport cu obiectul se folosesc repere speciale, care furnizează semnale de electroni retrodifuzați, sau, dacă reperele nu sînt admise pe obiect, se folosește sistemul interferometric cu laser.

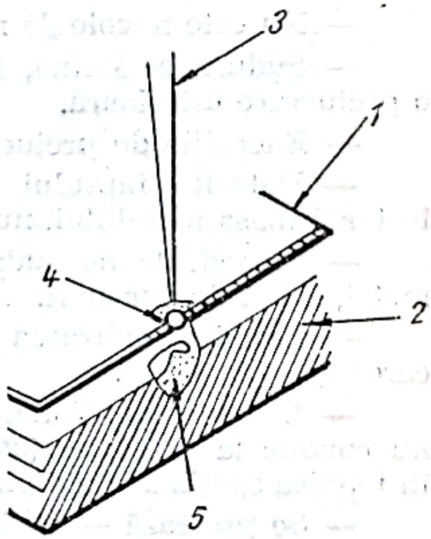


Fig. 13.49. Implantare de ioni prin fascicul de electroni:
1 — folie; *2* — cristal; *3* — fascicul de electroni; *4* — plasmă de dopare; *5* — crater dopat.

Procese de dopare. În domeniul semiconductoarelor, doparea poate fi corect și economic realizată cu ajutorul fasciculului de electroni, nemaifiind necesare o serie de operații de uscare și fără o încălzire a substratului.

În fig. 13.49 este prezentat un procedeu de implantare de ioni, utilizînd ca sursă de energie un fascicul de electroni iar materialul de dopare sub formă de folie metalică. Folia *1* este presată în imediata apropiere a cristalului *2*; fasciculul de electroni *3* este focalizat pe folia de

Scanned with OKEN Scanner

dopare, formînd prin topire o plasmă în punctul de impact. Această plasmă de dopare introduce ioni dopați în craterul *5*, realizînd zone diferite. Fasciculul de electroni poate fi modulat funcție de dimensiunile dorite pentru zona de dopare și de tipul materialului de dopare. Se pot realiza și implantări simultane pe ambele părți ale unui substrat, acționînd în mod perfect axial și programat două fascicule de electroni.

Realizarea de pelicole pe suporți. Se menționează în literatura de specialitate posibilitatea obținerii unor pelicule dielectrice pe baza depunerii și evaporării unor oxizi refractari din metale rare cu ajutorul unui fascicul de electroni. Oxizii utilizați sînt La_2O_3, Nd_2O_3, Y_2O_3, iar peliculele realizate prezintă proprietăți dielectrice bune, ceea ce a permis chiar executarea unor condensatoare a căror capacitate a fost de 0,1 $\mu F/cm^2$.

4. Avantaje pe care le prezintă utilizarea fasciculului de electroni în operații industriale. Perspective

— Se realizează suduri de mare rezistență și precizie.

— Nu este nevoie de material de umplutură.

— Sudura este fină, nu apar umflături la capete, nu este necesară o prelucrare ulterioară.

— Energiile de prelucrare sînt mai mici decît la alte sisteme clasice.

— Datorită faptului că transferul de energie se face local și nu în toată masa metalului, nu se produc deformări.

— Procedeele de sudare și prelucrare sînt utilizabile pentru orice metal, oricît de dur ar fi.

— Permite realizarea unor inobilări de metale, căliri superficiale, a căror aplicații cresc.

— Sînt de menționat unele prelucrări la care metodele clasice nu conduc la rezultate (oțeluri superioare, țevile foarte subțiri utilizate în tehnica spațială și a mecanicii fine).

— Se pretează — indiferent de aplicație — la o automatizare a procesului de fabricație cu implicații majore asupra calității și eficienței economice.

— Deși valoarea investiției este importantă, faptul că nu necesită scule și pregătiri de fabricație complicate, rapiditatea procesului, face ca să existe deja domenii largi în care procedeul este economic, justificat și de creșterea numărului de echipamente funcționînd pe baza aplicațiilor fasciculului de electroni.

— Largi aplicații în ultima perioadă pentru realizarea unor măști de circuite electronice, corectarea lor, implantarea de ioni, depuneri de straturi subțiri.

— Asigură o serie de tratamente de mare finețe pentru metale sau aliaje la care tehnicile convenționale nu permiteau acest lucru.

Scanned with OKEN Scanner

— Asigură realizarea unor filtre cu număr de găuri ridicat și de diametre mici, necesare pentru industria alimentară și industria hîrtiei, nerealizabile economic prin alte procedee clasice.

— Pentru o serie de piese uzinate prin acest procedeu rezultă importante efecte economice: came pentru pompe de injecție — economii de oțel rapid și timp de sudură, avînd ca efect o reducere a costului cu 60%; portplanetare: reducere a costurilor materiilor prime și timpului de uzinare cu 30—40%; rotoare de turbocompresoare: sudare cu fasciculul de electroni permite economia de inconel, ducînd la reducerea costului cu 20—30%; piese pentru camere de combustie: costul final cu 10—50% mai redus decît cel obținut prin electroeroziune, cunoscut prin productivitatea sa; pistoane auto: tratamentul termic aplicat permite reducerea nichelului cu 10% și creșterea calității.

*
* *

În ultimii ani tehnologiile bazate pe fasciculele de electroni au intrat masiv și în domeniul industriei nucleare și a magistralelor de transport a gazelor naturale la care se impun suduri și prelucrări de mare precizie, depășind cadrul relativ mai îngust, acela al industriei automobilului și al mecanicii fine, unde s-au aplicat inițial.

Marea elasticitate a acestei tehnologii și sfera largă a operațiilor, faptul că răspunde unor importante probleme ale lumii contemporane — calitate, economii de materiale și energie, timpi scurți de uzinare — pledează pentru promovarea pe scară largă a acestor tehnologii.

BIBLIOGRAFIE

1. BOARNA, C. ș.a. *Procedee neconvenționale de sudare.* Timișoara, Editura Facla, 1980.
2. COMȘA, D. *Utilizări ale energiei electrice.* București, Editura Didactică și Pedagogică, 1973.
3. STEIGERWALD, K. H. *Stadiul actual al tehnologiei fasciculului de electroni pentru procedee cu prevalare de material la metale de sudare și tratament termic.* Seminarul tehnic „Tehnica fasciculului de electroni" și demonstrații practice ICPE, București, 1979.
4. TĂNĂSESCU, FL., SLAIHER, S. și MIHĂIESCU, M. *Conectarea prin sudură a conductoarelor rotoarelor disc utilizînd tehnica fasciculului de electroni.* Seminarul Tehnic „Tehnica fasciculului de electroni" și demonstrații practice, ICPE, București, 1979.
5. HILLER, W. *Prelucrarea metalelor cu ajutorul fasciculului de electroni în construcția de mașini, îndeosebi în mecanica fină.* Seminarul tehnic „Tehnica fasciculului de electroni" și demonstrații parctice, ICPE, București, 1979.
6. STEIGERWALD, K. H. *Electron Beam Machining. The Process and its applications.* În: Steigerwald Strahltechnik.
7. TĂNĂSESCU, FL. Electrotehnologii — note de curs, Fasciculul de electroni. București, IPB, 1985.

Scanned with OKEN Scanner

8. HILLER, W. *EB Welding — Possibilities and limits of application.* În: Steigerwald Strahltechnik.
9. * * *Schweissen. Neue Techniken Setzen sich durch.* În: Electroanzeiger 34, 1981, nr. 7.
10. BRILLANT, M. şi BONY, Y. *Le soudage par faisceaux d'electrons des alliages d'aluminium.* În: Materiaux et techniques — Aout — Septembre 1980.
11. BAKISH, R. *Der stand des Elektronenstrahlschweissens in den USA.* În: Grosse Schweisstechnische Tagung. Essen, 1969.
12. HILLER, W. *Die Aufschmelzbehandlung metallischer Wekstoffe mit dem Elektronenstrahl — Grundlagen und Anwendungstechnik.* În: Sonderdruck aus „Metalloberflaeche", 29, 1975.
13. KEWNEY, G. *Electron beams for making microcircuits.* În: New Scientist 22 iunie, 1978.
14. POSCHEL, C. ş.a. *Erzengung von Mikrostrukturen durch Elektronenbestrahlung.* În: Feingerätetechnik, Heft 5, 1981.
15. DOBENECK, D. *Drilling with electron beams.* În: Ingenieur Digest, 1977, (16), Febr., p. 17—21.
16. * * * *Electron Beam Technology in Vacuum Metallurgy.* În: Leybold—Heraeus 61.100.02, 1986.

Scanned with OKEN Scanner

14

Prelucrarea prin electroeroziune a suprafeţelor complexe cu profile de revoluţie

Prof. dr. ing. *Ionel Gavrilaş*
Şef lucrări dr. ing. *Niculae Ion Marinescu*
Institutul Politehnic Bucureşti
Dr. ing. *Mihai Petre*
Întreprinderea de Mecanică Fină
Şef lucrări ing. *Radu Marinescu*
Institutul Politehnic Bucureşti

1. Consideraţii generale

La instalaţiile de prelucrare prin electroeroziune, de regulă, piesa este fixă şi electrodul-sculă primeşte mişcarea de avans, profilul cavităţii piesei realizîndu-se prin copiere, corespunzător profilului electrodului-sculă.

Prelucrarea suprafeţelor complexe impune însă utilizarea unor echipamente specializate, care permit combinarea mişcărilor electrodului-sculă, pentru realizarea cinematicii corespunzătoare profilului de prelucrat.

În aceste condiţii stabilirea tehnologiei de prelucrare prin electroeroziune a suprafeţelor complexe de revoluţie cu electrozi-sculă rotativi implică proiectarea şi realizarea unor echipamente de lucru specializate, prevăzute cu cinematica necesară, efectuarea de cercetări experimentale pentru stabilirea valorilor optime ale parametrilor electrotehnologici, precum şi adoptarea unor construcţii de scule specifice acestui tip de prelucrare.

În prezent, firme specializate în fabricaţia maşinilor de prelucrat prin electroeroziune, cum sînt CHARMILLES, ONA, AGIE etc., au realizat unele dispozitive pentru acest fel de prelucrări, însă aceste dispozitive sînt proprii unui singur tip de maşină, acţionarea lor în mişcarea de rotaţie făcîndu-se prin cuplare cu ambreiaje încorporate în capul port-electrod. Această soluţie constructivă face ca utilizarea dispozitivelor să fie limitată doar la maşina pentru care au fost proiectate, ele avînd un grad de universalitate redus.

Prin urmare, este necesară o nouă concepţie privind proiectarea şi realizarea unor astfel de echipamente care să poată fi utilizate pe orice

Scanned with OKEN Scanner

tip de mașină de prelucrare electroerozivă și îndeosebi pe mașinile românești de tip ELER.

Rezolvarea corespunzătoare a problemelor tehnologice de prelucrare electroerozivă a suprafețelor complexe permite obținerea unor piese cu configurație complexă cum sînt rolele profilate din carburi metalice de la laminoare, plăcile active pentru ștanțe și matrițe, roțile dințate, filierele ș.a.

2. Dispozitive specializate pentru prelucrarea cu scule rotative

Prelucrarea prin electroeroziune a suprafețelor complexe de revoluție cu electrozi-sculă rotativi impune analiza constructiv-funcțională a unor echipamente specializate pentru prelucrarea suprafețelor interioare și exterioare (fig. 14.1).

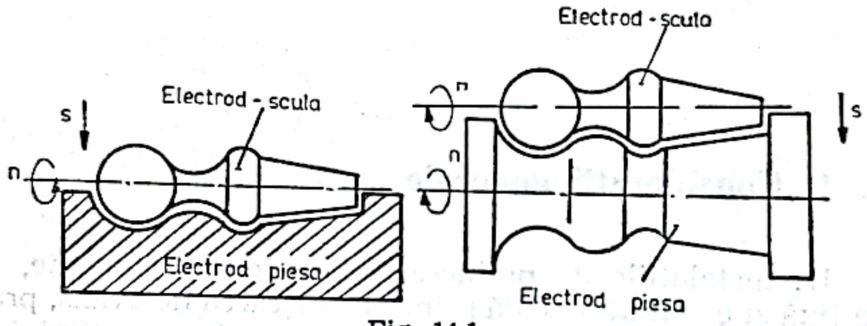


Fig. 14.1.

Aceste echipamente trebuie să asigure funcțiunile prezentate schematic în fig. 14.2.

Pentru a fi posibilă prelucrarea suprafețelor complexe de revoluție este necesar ca profilul de prelucrat și, implicit, profilul electrodului-

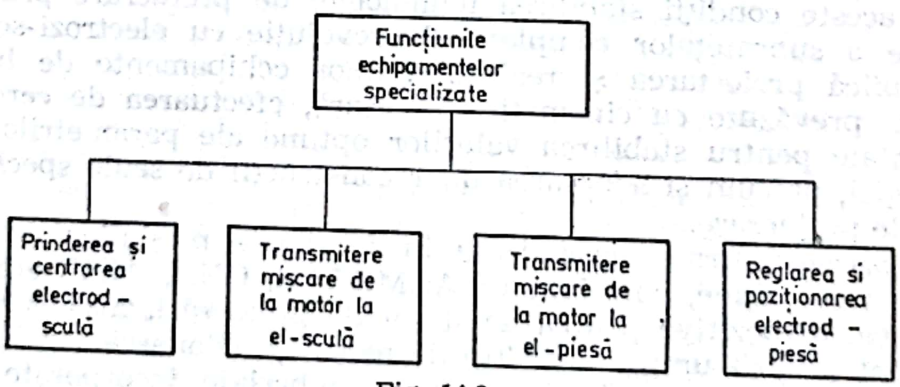


Fig. 14.2.

sculă să îndeplinească, din punct de vedere constructiv, următoarele condiții:

— din intersecția suprafeței de prelucrat cu un plan ce trece prin axa de rotație să rezulte o curbă deschisă;

— curba de profil să fie derivabilă în orice punct și să nu prezinte puncte de întoarcere sau bucle închise.

Astfel, pentru prelucrarea suprafețelor de revoluție de dimensiuni reduse, în plăci de diferite forme și dimensiuni, pot fi utilizate dispozitive cu electrodul-sculă în consolă (fig. 14.3), iar pentru suprafețe de dimensiuni mai mari echipamente cu prinderea electrodului-sculă între vîrfuri (fig. 14.4).

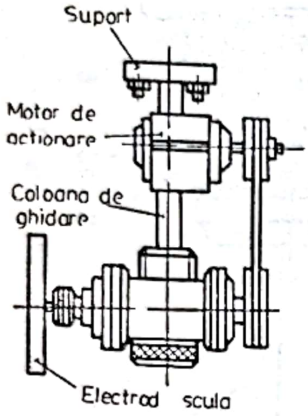


Fig. 14.3.

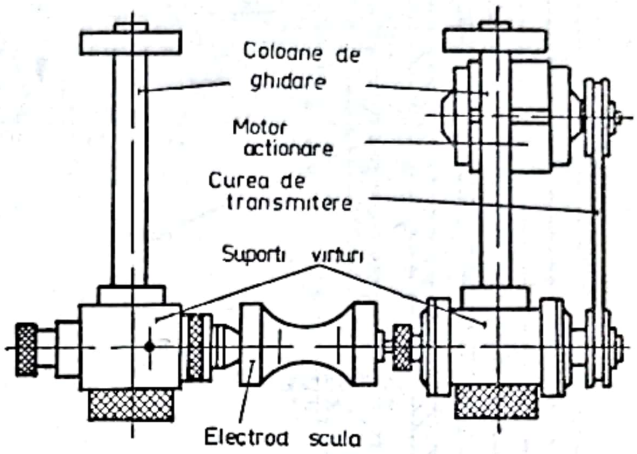


Fig. 14.4.

Prelucrarea prin electroeroziune a pieselor de revoluție cu forme complexe necesită echipamente de tipul celui prezentat în fig. 14.5, care să permită materializarea cinematicii caracteristice rulării, electrodul-sculă rotindu-se în același sens sau invers față de electrodul-piesă.

Din punct de vedere constructiv-funcțional, *dispozitivul cu prinderea electrodului-sculă în consolă* (fig. 14.6) este alcătuit astfel: pe capul port-electrod *1* este montată placa de susținere *2* de care este fixată coloana *3*. Pe coloana *3* este fixat motorul de antrenare *4* care, prin intermediul curelei *5*, antrenează sistemul rotativ *6*. Prinderea electrodului-sculă *7* se realizează cu ajutorul sistemului de strîngere *8*.

Pentru spălarea corespunzătoare a zonei de lucru, dispozitivul permite injectarea dielectricului prin sistemul de alimentare *9* și prin interiorul axului central *10* și a electrodului-sculă *7*.

Corespunzător schemei de principiu din fig. 14.6, dispozitivul proiectat și realizat este prezentat în fig. 14.7.

Dispozitivul cu prinderea electrodului-sculă între vîrfuri (fig. 14.8) este alcătuit astfel: pe capul port-electrod *1* se montează placa-suport *2*, pe care este fixat sistemul de rotire *3* la diferite unghiuri a întregului dispozitiv, unghiuri care sînt indicate pe tamburul *4*. De placa-suport *2*, prin intermediul coloanelor *5* sînt fixate sistemele rotative *6* și *7*, prevăzute cu vîrfurile *8* și *9* de antrenare a electrodului-sculă *10* în mișcare de rotație primită de la motorul *11* prin intermediul curelei trapezoidale *12*.

Dispozitivul are posibilitatea de trimitere a dielectricului în zona de lucru prin intermediul sistemului de alimentare *13*, dielectricul fiind injectat prin interiorul axului central *14* și al electrodului-sculă.

Corespunzător schemei de principiu din fig. 14.8, dispozitivul realizat este prezentat în fig. 14.9.

Scanned with OKEN Scanner

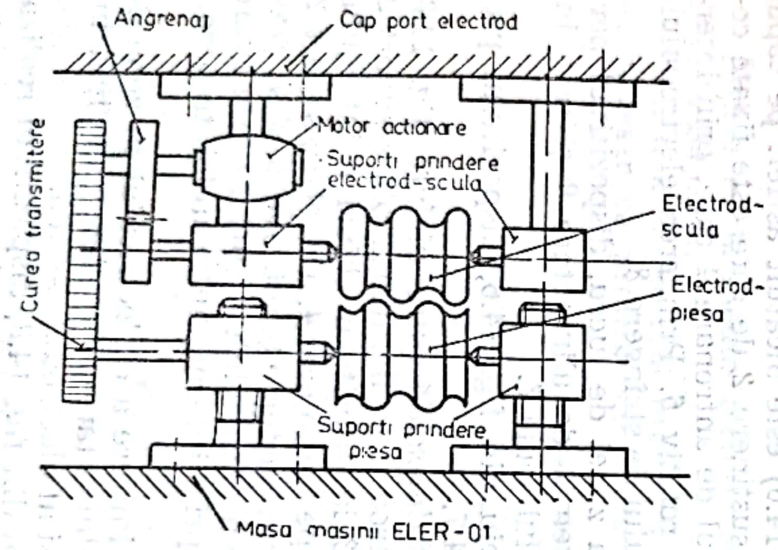


Fig. 14.5.

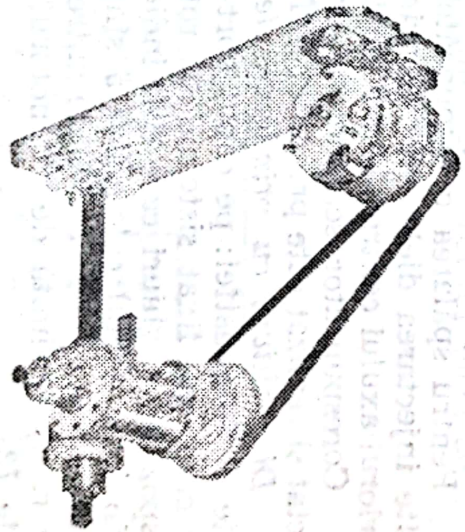


Fig. 14.7.

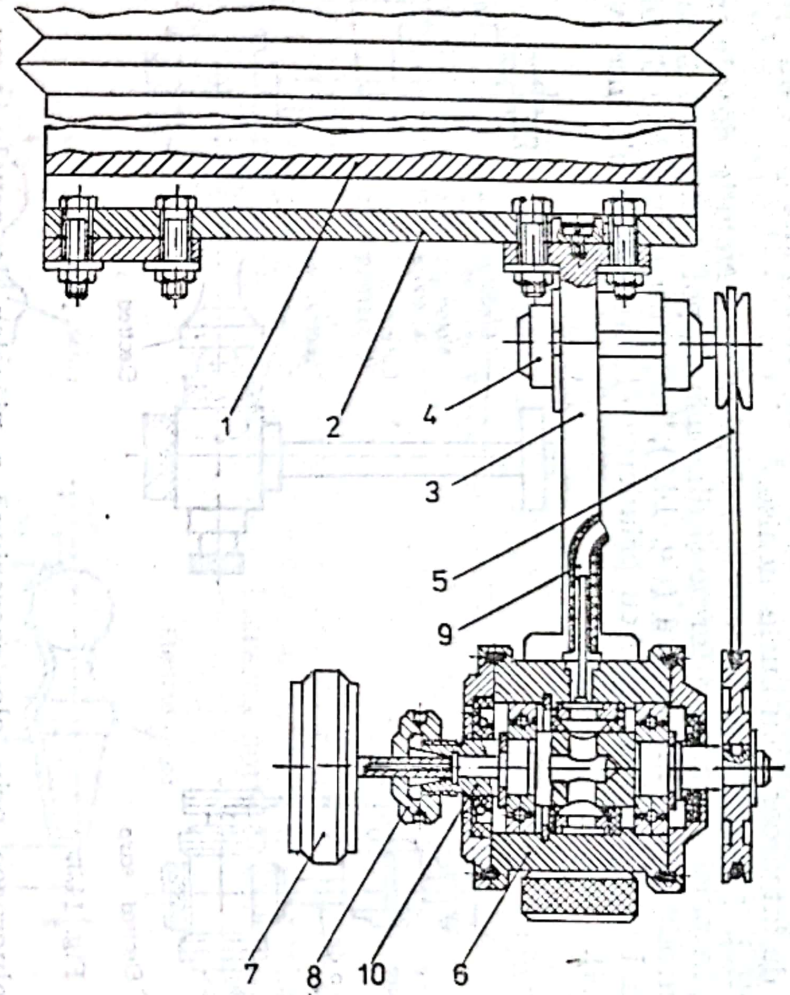


Fig. 14.6.

Scanned with OKEN Scanner

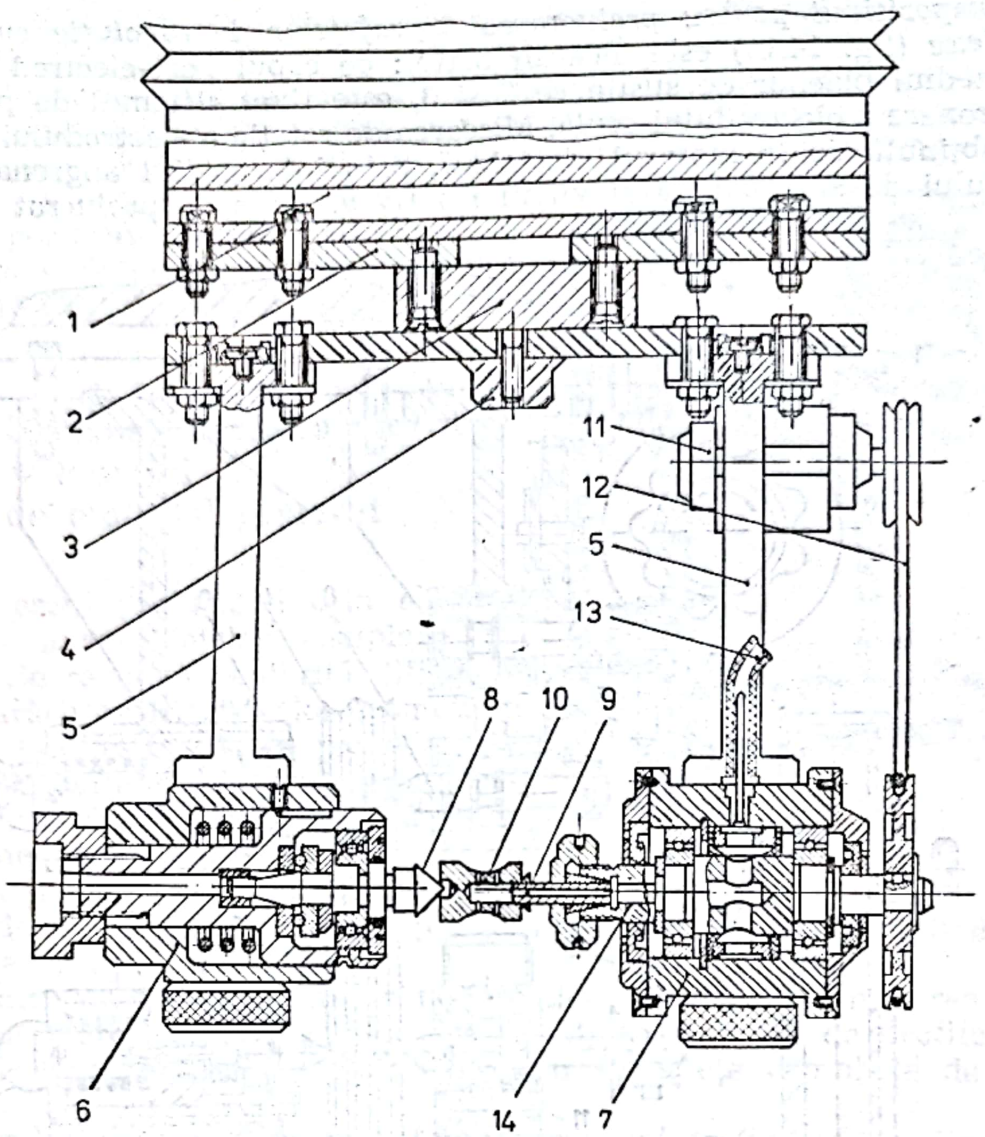
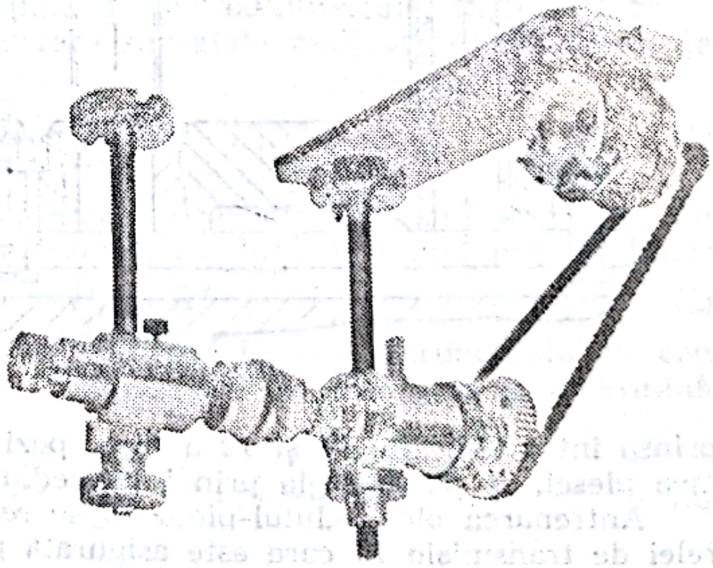


Fig. 14.8.

Fig. 14.9.



Scanned with OKEN Scanner

Dispozitivul pentru prelucrarea suprafețelor de revoluție cu forme complexe (fig. 14.10) este alcătuit astfel: pe capul port-electrod *1*, prin intermediul plăcilor de susținere *2* și *3*, este fixat sistemul de prindere și antrenare a electrodului-sculă. Mișcarea de rotație a electrodului-sculă *4* este obținută de la motorul electric *5*, prin intermediul angrenajului *7* a vîrfului de antrenare *8* și vîrful rotativ *9*. Piesa de prelucrat *10* este

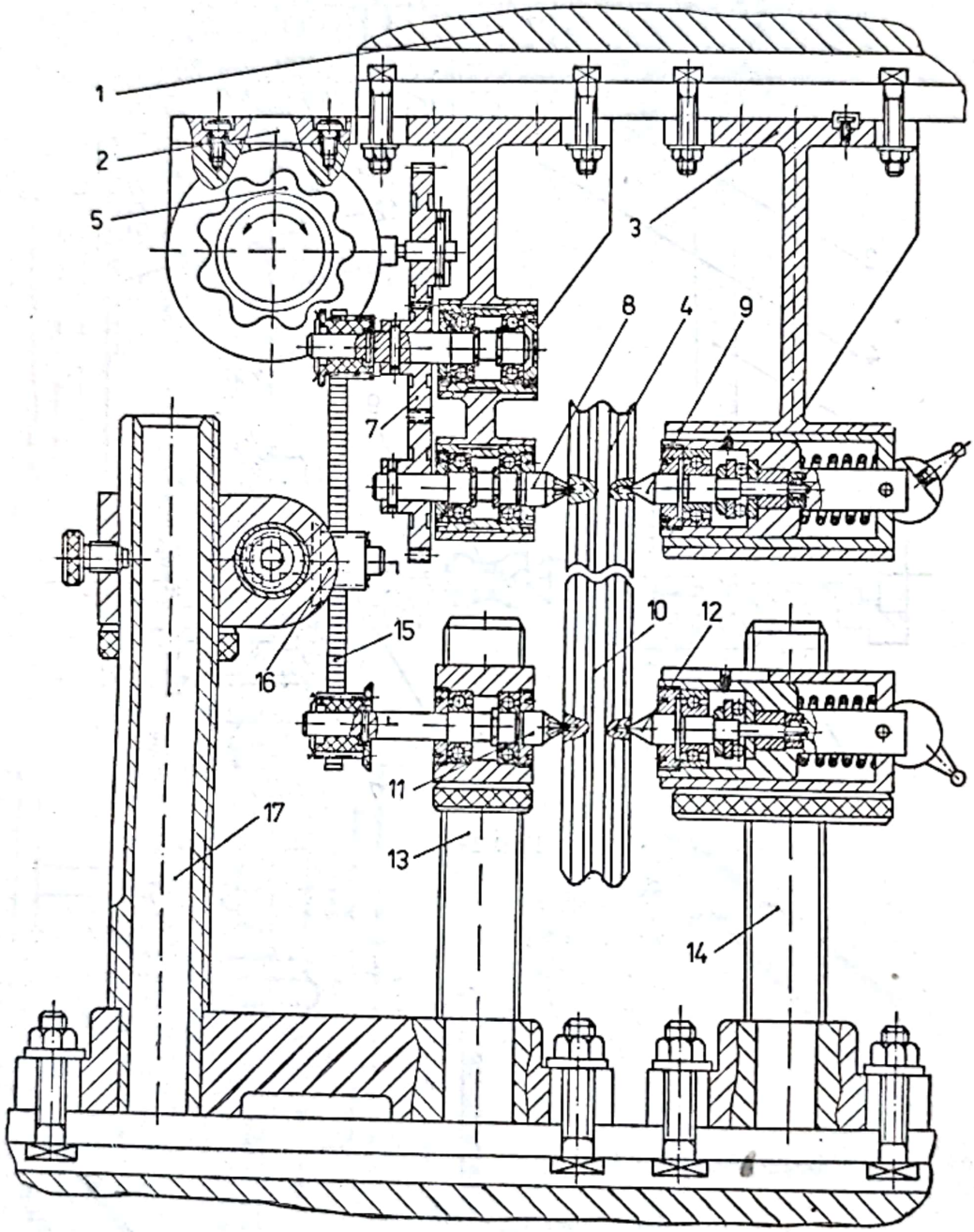


Fig. 14.10.

prinsă între vîrfurile *11* și *12* a căror poziție de lucru, funcție de mărimea piesei, se poate regla prin intermediul coloanelor filetate *13* și *14*.

Antrenarea electrodului-piesă *10* se realizează prin intermediul curelei de transmisie *15* care este asigurată pentru o bună funcționare de

Scanned with OKEN Scanner

subansamblul întinzător *16*, care se poziționează și fixează pe coloana filetată *17*.

Motorul de antrenare a electrodului-sculă în mișcarea de rotație este acționat cu ajutorul unui generator de curent continuu cu redresor cu seleniu, 0 . . . 48 V, 0—20 A, care permite reglarea în șase trepte a turației.

Dispozitivul realizat conform acestei scheme de principiu este prezentat în fig. 14.11.

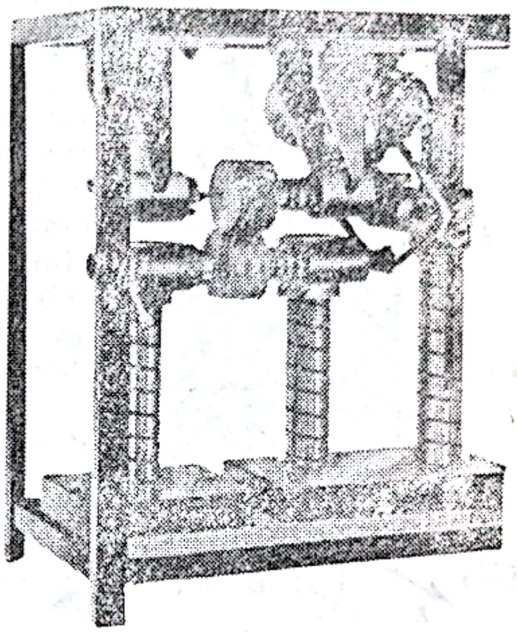


Fig. 14.11.

3. Determinarea analitică a volumului de material prelevat

În cazul prelucrării prin electroeroziune a suprafețelor complexe cu profile de revoluție, datorită dificultății măsurării caracteristicilor geometrice ale cavității escavate, se poate stabili momentul terminării prelucrării (durata prelucrării) prin determinarea volumului de material prelevat, funcție de caracteristicile prelucrării, respectiv viteza de erodare „v_e" și interstițiul de lucru „X" și dimensiunile geometrice ale electrodului-sculă.

Pentru stabilirea relațiilor matematice privind determinarea volumului de material prelevat s-au luat în studiu 4 tipuri de profile întîlnite frecvent în configurația pieselor cu suprafețe complexe de revoluție.

Cazul a. Prelucrarea suprafețelor tronconice (fig. 14.12). Se analizează pentru două situații distincte și anume:

— cu pătrunderea frontală a electrodului-sculă fig. 14.12, *a*;

— cu pătrunderea tangențială a electrodului-sculă, fig. 14.12, *b*;

În prima situație de prelucrare suprafața realizată este definită de ecuația:

$$x-R=\frac{H-h}{R-r}\cdot(z-H), \tag{1}$$

unde H, h, R, r reprezintă dimensiunile geometrice ale trunchiului de con prelucrat în coordonate carteziene, condiția de limită impusă fiind:

$$H/h=R/r. \tag{2}$$

În aceste condiții, considerîndu-se „dz" înălțimea trunchiului de con elementar escavat, volumul de material prelevat din piesă se determină cu relația:

$$V_{(z)}=\pi\int_{h}^{h+z}\frac{R^2z^2}{H^2}\,dz=\frac{\pi R^2}{3H^2}\,(z^3+3hz^2+3h^2z). \tag{3}$$

Scanned with OKEN Scanner

Dacă distanța parcursă de electrodul-sculă „z" este determinată ca produsul dintre viteza de erodare „v_e" și timpul de prelucrare „t", cu condiția impusă ca „v_e" să fie egală cu viteza de avans „s" a electrodului-sculă, volumul de material erodat, în funcție de timpul de prelucrare, se determină cu relația:

$$V_{(t)}=\frac{\pi R^2}{3H^2}\,(v_e^3t^3+3hv_e^2t^2+3h^2v_et). \tag{4}$$

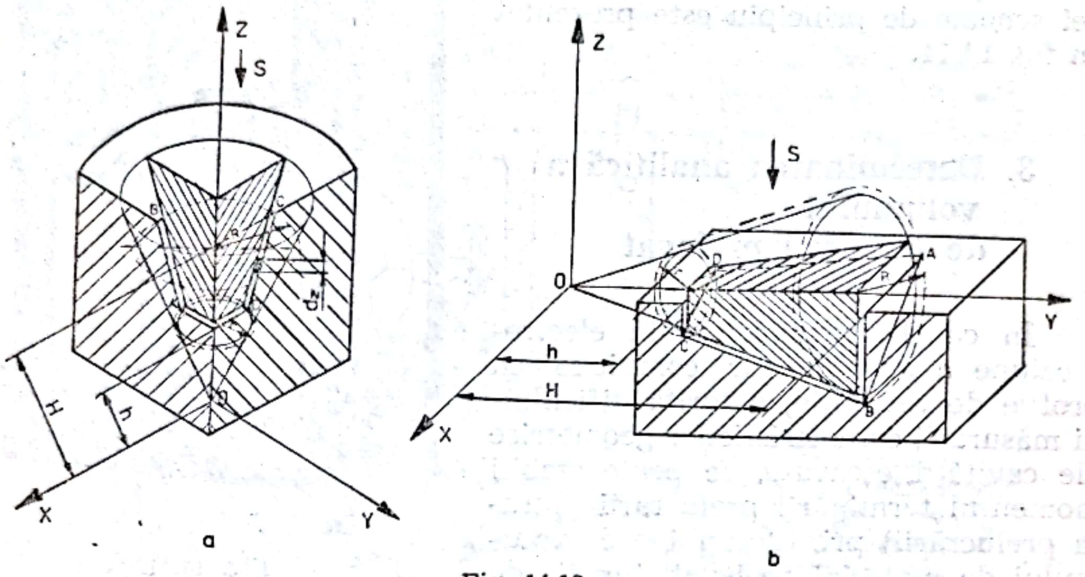


Fig. 14.12.

Pentru stabilirea volumului de material prelevat în funcție de caracteristicile prelucrării (viteză de erodare „v_e" și interstițiul de lucru normal X_n) și de dimensiunile electrodului-sculă, se fac substituțiile:

$$h=r\,\mathrm{ctg}\,\theta;\quad H=R\,\mathrm{ctg}\,\theta, \tag{5}$$

unde h, H sînt distanțele de la originea axelor de coordonate la planul bazei mici, respectiv bazei mari, a trunchiului de con prelucrat; r, R — raza bazei mici și raza bazei mari; θ — semiunghiul la vîrf al trunchiului de con.

Aplicînd substituțiile (5) relația (4) va avea forma:

$$V_{(t)}=\frac{\pi}{3}\,\mathrm{tg}^2\,\theta(v_e^3t^3+3r\,\mathrm{ctg}\,\theta\,v_e^2t^2+3r^2\,\mathrm{ctg}^2\,\theta\,v_et). \tag{6}$$

Similar, stabilirea volumului de material erodat, funcție de dimensiunile electrodului-sculă utilizat, se face prin înlocuirea mărimii razei „r" a trunchiului de con escavat, funcție de raza corespunzătoare „r_e" a electrodului-sculă și mărimea interstițiului de lucru normal „X_n", corespunzător fig. 14.13.

$$r=r_e+X_n\cos\theta. \tag{7}$$

Ca urmare, volumul de material erodat se exprimă prin relația:

$$V_{(t)}=\frac{\pi}{3}\,\mathrm{tg}^2\,\theta[v_e^3t^3+3(r_e+X_n\sec\theta)\,\mathrm{ctg}\,\theta\,v_e^2\,t^2+ \\ +3(r_e+X_n\sec\theta)^2\,\mathrm{ctg}^2\,\theta\,v_et]. \tag{8}$$

Relația (8) permite deci stabilirea valorii timpului de prelucrare „t" în funcție de dimensiunile geometrice ale suprafeței prelucrate și ale electrodului-sculă: $V_{(t)}$, θ, r_e și caracteristicile prelucrării: v_e, X_n.

Pentru a doua situație de prelucrare (v. fig. 14.12, *b*) suprafața conică realizată este definită de ecuația:

$$z^2+x^2=\frac{R^2}{H^2}\,y^2. \tag{9}$$

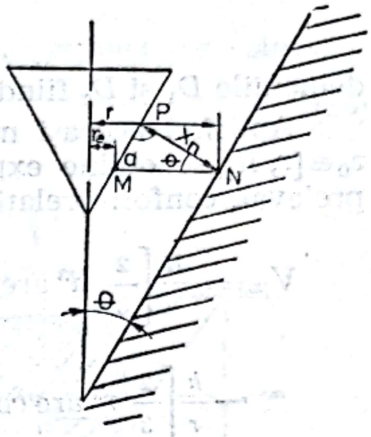


Fig. 14.13.

Pentru determinarea volumului de material prelevat, calculul analitic se face în raport cu poziția planului $ABCD$, care definește secțiunea de intrare a electrodului-sculă în piesa prelucrată, funcție de dimensiunile diametrale ale trunchiului de con prelucrat. Planul definit de punctele A, B, C, D are ecuația $z=z_0$, iar volumul de material prelevat (situat sub acest plan) se notează cu V_{z0}.

În cazul cînd $z_0\in[r,R]$ volumul de material prelevat se determină cu relația:

$$V_{(z_0)}=\iint\limits_D dz\,dx\left(\int\limits_{\frac{H}{R}\sqrt{z^2+x^2}}^{H} dy\right)=\iint\limits_D\left(H-\frac{H}{R}\sqrt{z^2+x^2}\;dz\,dx\right) \tag{10}$$

domeniul D fiind definit ca în fig. 14, *a*.

Pentru efectuarea integralei de domeniu din relația (10), prin trecerea în coordonate polare, se obține relația:

$$V_{(z_0)}=\frac{H}{R}\int\limits_{-\arccos\frac{z_0}{R}}^{\arccos\frac{z_0}{R}} d\varphi\int\limits_{\frac{z_0}{\cos\varphi}}^{R}(R-\rho)\,d\rho=\int\limits_{-\arccos\frac{z_0}{R}}^{\arccos\frac{z_0}{R}}\left(\frac{R^3}{6}-\frac{R^2z_0}{2\cos^2\varphi}+\frac{z_0^3}{3\cos^3\varphi}\right)d\varphi=$$

$$=\frac{H}{R}\left[\frac{2R^3}{3}\arccos\frac{z_0}{R}-\frac{2}{3}Rz_0\sqrt{R^2-z_0^2}+\frac{z_0^3}{6}\ln\frac{R+\sqrt{R^2-z_0^2}}{R-\sqrt{R^2-z_0^2}}\right] \tag{11}$$

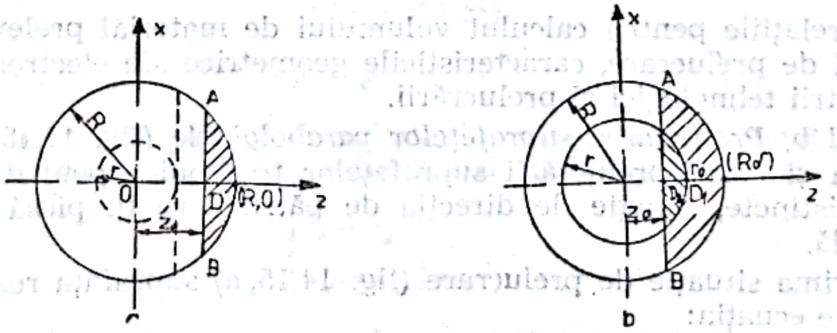


Fig. 14.14.

În cazul cînd $z_0 \in [0, r]$ volumul de material prelevat se exprimă cu relația:

$$V_{(z_0)} = \iint\limits_{D_1} dz dx \int\limits_{\frac{H}{R}\sqrt{z^2+x^2}}^{H} dy + \iint\limits_{D_2} dz dx \int\limits_{h}^{H} dy, \tag{12}$$

domeniile D_1 și D_2 fiind definite ca în fig. 14.14, *b*.

Aplicînd aceeași metodologie de calcul ca și în cazul anterior cînd $z_0 \in [r, R]$ se obține expresia cu care se determină volumul de material prelevat, conform relației:

$$V_{(z_0)} = \frac{H}{R}\left[\frac{2}{3} R^3 \arccos \frac{z_0}{R} - \frac{2}{3} R z_0 \sqrt{R^2 - z_0^2} + \frac{z_0^3}{6} \ln \frac{R + \sqrt{R^2 - z_0^2}}{R - \sqrt{R^2 - z_0^2}}\right] -$$

$$- \frac{h}{r}\left[\frac{2}{3} r^3 \arccos \frac{z_0}{r} - \frac{2}{3} r z_0 \sqrt{r^2 - z_0^2} + \frac{z_0^3}{6} \ln \frac{r + \sqrt{r^2 - z_0^2}}{r - \sqrt{r^2 - z_0^2}}\right] \tag{13}$$

Sintetic, pe intervalul $z_0 \in [0, R]$, volumul de material prelevat se determină cu sistemul de relații:

$$V_{(z_0)} = \begin{cases} \dfrac{H}{R}\left[\dfrac{2}{3} R^3 \arccos \dfrac{z_0}{R} - \dfrac{2}{3} R z_0 \sqrt{R^2 - z_0^2} + \dfrac{z_0^3}{6} \ln \dfrac{R + \sqrt{R^2 - z_0^2}}{R - \sqrt{R^2 - z_0^2}}\right]; \\ \text{pentru } z_0 \in [r, R]; \\ \dfrac{H}{R}\left[\dfrac{2}{3} R^3 \arccos \dfrac{z_0}{R} - \dfrac{2}{3} r^3 \arccos \dfrac{z_0}{r} - \dfrac{2z_0}{3}(R\sqrt{R^2 - z_0^2} - r\sqrt{r^2 - z_0^2}) + \right. \\ \left. + \dfrac{z_0^3}{6} \ln \dfrac{2R^2 + 2R\sqrt{R^2 - z_0^2} - z_0^2}{2r^2 + 2r\sqrt{r^2 - z_0^2} - z_0^2}\right]; \text{ pentru } z_0 \in [0, r]. \end{cases} \tag{14}$$

Folosind aceleași condiții de limită ca și cele prezentate în cazul cînd $z_0 \in [0, r]$, respectiv:

$$z_0 = R - v_e t; \; R = R_e + X_n \sec \theta;$$
$$V_{(t)} = v_e + X_n \sec \theta; H/R = h/r, \tag{15}$$

se obțin relațiile pentru calculul volumului de material prelevat funcție de timpul de prelucrare, caracteristicile geometrice ale electrodului-sculă și parametrii tehnologici ai prelucrării.

Cazul b. Prelucrarea suprafețelor paraboloidale (fig. 14.15). Se analizează ca și cazul prelucrării suprafețelor tronconice pentru cele două situații distincte, funcție de direcția de pătrundere în piesă a electrodului-sculă.

În prima situație de prelucrare (fig. 14.15, *a*) suprafața realizată este definită de ecuația:

$$y^2 = 2pz, \tag{16}$$

Scanned with OKEN Scanner

volumul de material erodat în lungul axei Oz fiind exprimat prin relația:

$$V_{(z)}=\pi\int_{h}^{h+z}2pz\,dz=\pi p(z^2+2hz), \tag{17}$$

iar în funcție de timpul de prelucrare, volumul corespunzător este:

$$V_{(t)}=\pi p(v^2t^2+2hvt). \tag{18}$$

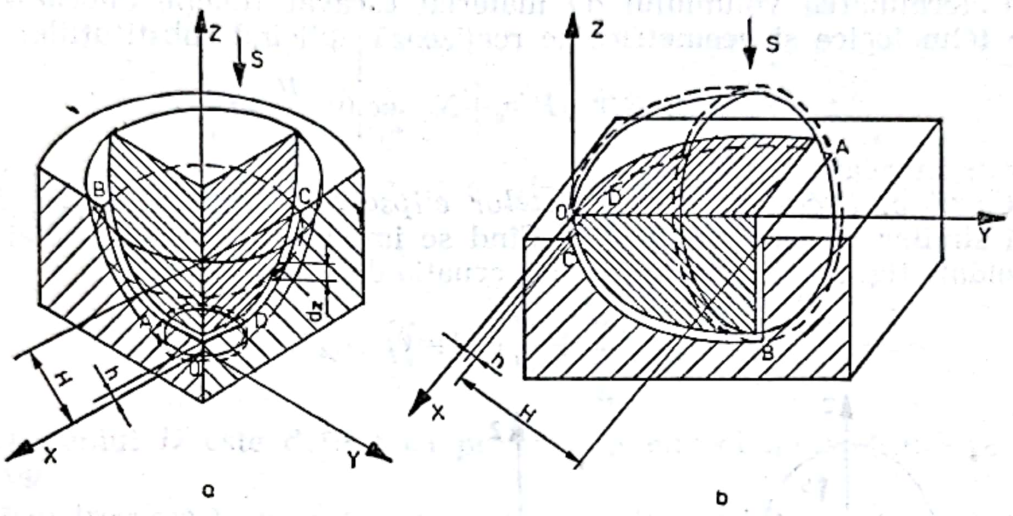


Fig. 14.15.

Ca și în cazul suprafețelor tronconice, corespunzător caracteristicilor prelucrării și geometrice ale electrodului-sculă (cu o foarte mică aproximare) volumul de material erodat se poate exprima cu relația:

$$V_{(t)}=\pi p[v_e^2t^2+2\operatorname{ctg}\theta(r_e+X_n\cos\theta)v_et], \tag{19}$$

unde θ este unghiul format de tangenta la curba ce definește profilul cu axa Oz.

La cea de-a doua situație de prelucrare, fig. 14.15, *b*, suprafața paraboloidală realizată este definită de ecuația:

$$y^2=a(z^2+x^2); \tag{20}$$

cu condițiile de legătură: $H=aR^2$ și $h=ar^2$ (21)

Secțiunea plană *ABCD*, rezultată la un anumit moment al prelucrării, intersectează paraboloidul după o parabolă de forma:

$$\begin{cases} z=z_0 \\ y=a(z_0^2+x^2). \end{cases} \tag{22}$$

Aplicînd aceeași metodologie de calcul ca și în cazul prelucrării frontale și exprimînd în coordonate polare, în concordanță cu domeniile din

fig. 14.14, *a*, *b*, se obține volumul de material prelevat definit de relațiile:

$$V_{(z_0)}\begin{cases}\frac{aR^4}{2}\arccos\frac{z_0}{R}-\frac{az_0}{6}\sqrt{R^2-z_0^2}(5R^2-2z_0^2);\ \text{pentru } z_0\in[r,R];\\ \frac{aR^4}{2}\arccos\frac{z_0}{R}-\frac{az_0}{6}\sqrt{R^2-x^2}(5R^2-2z_0^2)-\\ -\frac{ar^4}{2}\arccos\frac{z_0}{r}+\frac{az_0}{6}\sqrt{r^2-z_0^2}(5r^2-2z_0^2);\ \text{pentru } z_0\in[0,r].\end{cases} \quad (23)$$

Determinarea volumului de material escavat funcție de caracteristicile tehnologice și geometrice se realizează aplicînd substituțiile:

$$z_0=R-v_et;\ R/r=R/r_e+X_n\sec\theta;\ \frac{H}{R^2}=\frac{h}{r^2}, \quad (24)$$

utilizate în relațiile (23).

Cazul c. Prelucrarea suprafețelor elipsoidale (fig. 14.16). Se analizează similar cu cazurile *a* și *b*. Cînd se impune prelucrarea unei zone elipsoidale fig. 14.16, *a*, definită prin ecuația de forma:

$$\frac{z^2}{a^2}+\frac{y^2}{b^2}-1=0, \quad (25)$$

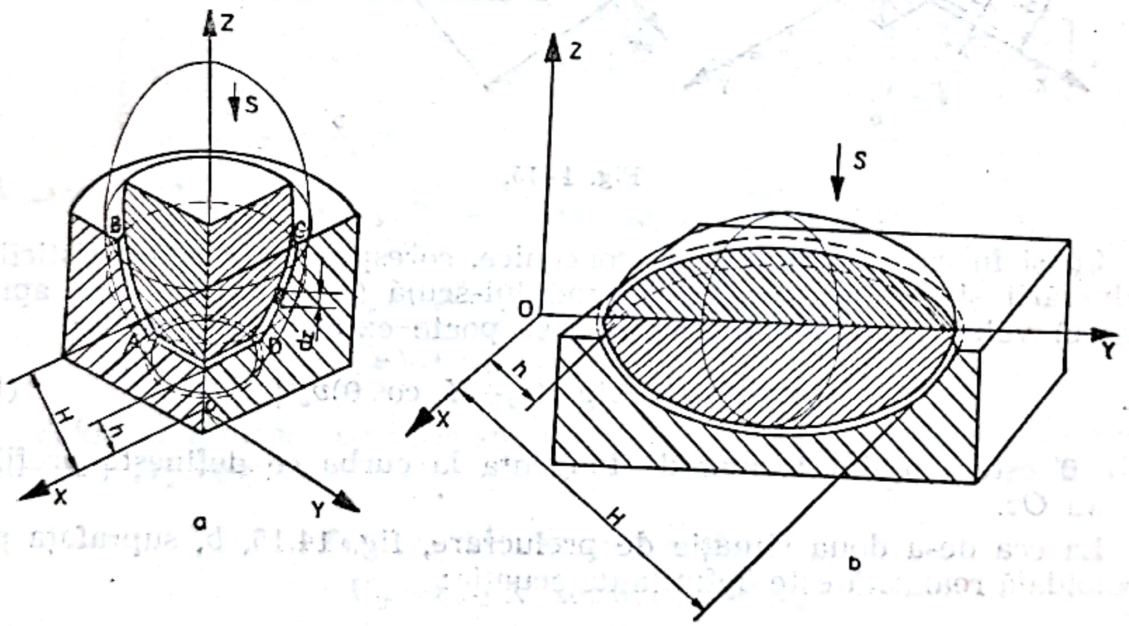


Fig. 14.16.

volumul de material prelevat se determină cu relația:

$$V_{(z)}=\pi\int_{-l}^{-l+z}y^2dz=\frac{\pi b^2}{3a^2}(3a^2z-3l^2z+3lz^2-z^3). \quad (26)$$

Corespunzător, funcție de timpul de prelucrare, volumul de material se exprimă prin relația:

$$V_{(t)}=\frac{\pi b^2}{3a^2}v_et(3a^2-3l^2+3lv_et-v_e^2t^2), \quad (27)$$

Scanned with OKEN Scanner

iar expresia acestuia în funcție de caracteristicile tehnologice și geometrice ale prelucrării se stabilește corespunzător substituției de forma celei prezentate în relația (7).

În cazul cînd se prelucrează cu toată suprafața elipsoidului (fig. 14.16, *b*), studiul analitic are la bază ecuația ce definește profilul acestui corp:

$$\frac{z^2+y^2}{a^2}+\frac{R^2}{b^2}=1 \tag{28}$$

și ecuația planului de secțiune situat la distanța z_0 de planul xoy, care este de forma:

$$\begin{cases} z=z_0 \\ \dfrac{y^2}{a^2}+\dfrac{x^2}{b^2}=1-\dfrac{z_0^2}{a^2}. \end{cases} \tag{29}$$

Volumul de material erodat se determină corespunzător integralei de domeniu:

$$V_{(z_0)}=\iint\limits_D dx\,dy \int\limits_{z_0}^{a\sqrt{1-\frac{y^2}{a^2}-\frac{x^2}{b^2}}} dz. \tag{30}$$

Domeniul D este definit ca proiecție a elipsei de secțiune pe planul xoy.

Prin trecerea în coordonate polare se obține, în final, expresia volumului de material escavat:

$$V_{(z_0)}=\pi\frac{b}{3a}(2a^3-3a^2z_0+z_0^3). \tag{31}$$

Determinarea volumului de material, funcție de caracteristicile tehnologice și geometrice, se face prin corelarea relației (31) cu substituțiile de forma celor din relația (24).

Cazul d. Prelucrarea suprafețelor sferice (fig. 14.17) constituie un caz particular al prelucrării suprafețelor elipsoidale, cu condiția ca: $a=b=R$.

Astfel, în cazul prelucrării unei zone sferice fig. 14.17, *a*, relațiile de definire ale volumului escavat sînt de forma:

$$V_{(z)}=\frac{\pi}{3}(3R^2z-3l^2z+3lz^2-z^3); \tag{32}$$

$$V_{(t)}=\frac{\pi}{3}v_et(3R^2-3l^2+3lv_et-v_e^2t^2) \tag{33}$$

iar în cazul prelucrării unei calote sferice (fig. 14.17, *b*) ecuația corespunzătoare volumului este:

$$V_{(z_0)}=\frac{\pi}{3}(2R^3-3R^2z_0+z_0^3), \tag{34}$$

definirea, funcție de caracteristicile tehnologice și geometrice fiind similară cazurilor prezentate anterior.

Scanned with OKEN Scanner

Cazul e. Prelucrarea suprafețelor cilindrice (fig. 14.18) se analizează ca și în cazul prelucrării suprafețelor tronconice. Astfel, în cazul cînd direcția de pătrundere a electrodului-sculă este frontală, respectiv axa cilindrului este paralelă cu axa *oz*, fig. 18, *a*, volumul de material erodat se exprimă cu relațiile:

$$V_{(z)}=\pi R^2 z, \text{ respectiv } V_{(t)}=\pi R^2 v_e t. \tag{35}$$

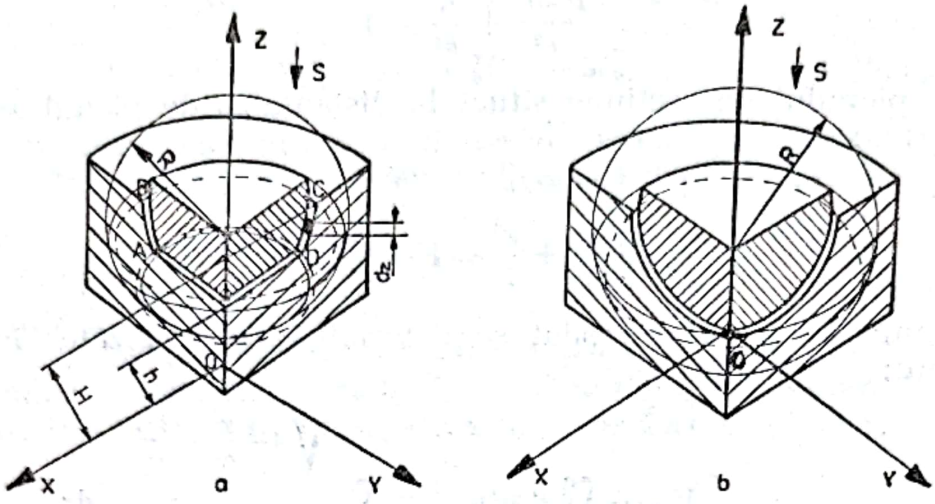


Fig. 14.17.

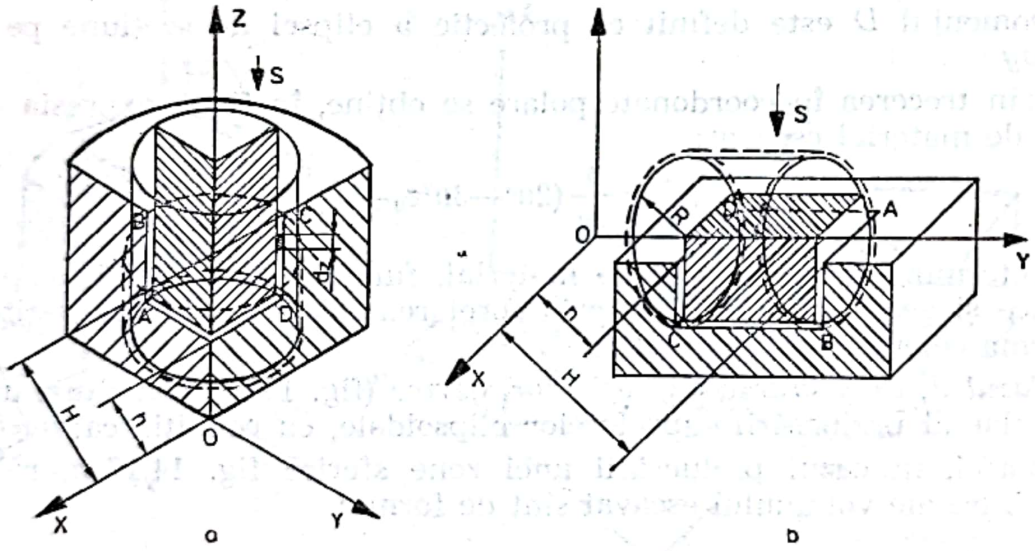


Fig. 14.18.

Pentru cazul cînd prelucrarea se face cu electrodul avînd axa paralelă cu planul *xoy*, fig. 18,*b*, volumul se determină cu relația:

$$V_{(z_0)}=\frac{H}{R}\left(\frac{2}{3}R^3 \arccos\frac{z_0}{R}-\frac{2}{3}Rz_0\sqrt{R^2-z_0^2}+\frac{z_0^3}{6}\ln\frac{R+\sqrt{R^2-z_0^2}}{R-\sqrt{R^2-z_0^2}}\right) \tag{36}$$

Ca și în celelalte cazuri de suprafețe prelucrate, determinarea volumului de material escavat, funcție de caracteristicile tehnologice și geometrice ale prelucrării se face introducînd în relațiile (35) și (36) mărimile razei electrodului-sculă, interstițiului de lucru și vitezei de erodare.

Scanned with OKEN Scanner

4. Influența factorilor electrotehnologici asupra caracteristicilor prelucrării

În vederea stabilirii interdependenței dintre factorii electrotehnologici și parametrii prelucrării suprafețelor complexe de revoluție cu scule rotative, s-au efectuat cercetări experimentale cu patru tipuri de forme de electrozi-sculă (fig. 14.19), executați din cupru electrolitic.

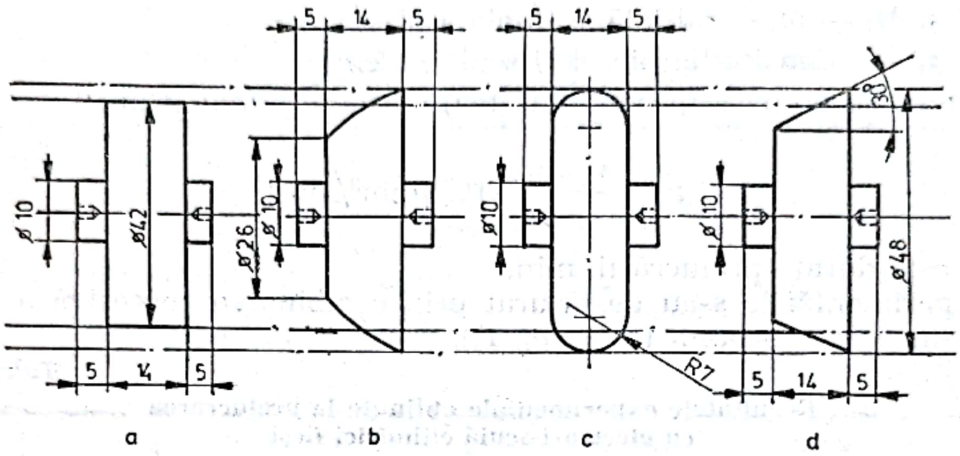


Fig. 14.19.

În cadrul acestor experimentări s-a analizat influența factorilor electrotehnologici asupra următorilor parametri: viteza de erodare (productivitatea), uzura electrodului-sculă și calitatea suprafeței, exprimată prin rugozitate și adîncimea stratului influențat termic.

De asemenea, pentru studiul preciziei de prelucrare a fost analizată variația interstițiului de lucru lateral, funcție de mărimile timpului de impuls.

Prelucrările au fost executate în piese din oțel C 120 și din carburi metalice sinterizate — G 20.

Analizele au urmărit în mod deosebit influența ce o exercită asupra parametrilor prelucrării variațiile timpului de impuls „T_i", turației electrodului-sculă „n", unghiului de trimitere a dielectricului în zona de lucru „α" (unghi format de direcția jetului de dielectric și axa de rotație a electrodului-sculă), duratei prelucrării „t".

S-au ales ca factori constanți presiunea de injecție a dielectricului (p=0,2 daN/cm²) și timpul de pauză între impulsuri (T_p=4 μs).

Intensitatea curentului de lucru și tensiunea corespunzătoare pentru fiecare regim de prelucrare au fost citite la aparatura de control a instalației ELER-01.

În aceste condiții, experimentările s-au efectuat prin variația succesivă a parametrilor de intrare cu următoarele valori:

— pentru timpul de prelucrare: t_i : 10, 20, 25, 30, 40 [min];

— pentru unghiul de injecție: α_i : 25, 30, 35, 40, 50 [grd];

Scanned with OKEN Scanner

— pentru turația sculei: n_i : 20, 40, 50, 60, 80 [rot/min];
— pentru timpul de impuls: T_i : 4, 6, 8, 12, 24 [μs].

Pentru determinarea uzurii volumetrice relative a electrodului-sculă, s-a utilizat următoarea relație de calcul:

$$\gamma = \frac{(m_i - m_f)\rho_p}{(M_i - M_f)\rho_s} \cdot 100 \ [\%], \qquad (37)$$

unde: m_i și m_f sînt masa inițială și finală a electrodului-sculă, g;
M_i și M_f — masa inițială și finală a piesei, g;
ρ_p, ρ_s — densitățile piesei și sculei, g/cm³.

Viteza de erodare (productivitatea) s-a determinat prin utilizarea relației:

$$v_e = \frac{M_i - M_f}{\rho_p t} \cdot 10^3 \ [\text{mm}^3/\text{min}], \qquad (38)$$

unde t este durata prelucrării, min.

Experimentările s-au desfășurat prin combinarea succesivă a valorilor parametrilor variabili (t_i, α_i, n_i, T_i).

Tabelul 14.1

Rezultatele experimentale obținute la prelucrarea cu electrozi-sculă cilindrici ficși

Material piesă: C 120; Presiune dielectric: 0,2 daN/cm²; Timp pauză: 4 μs

Timp de prelucrare, t_i min	Unghi de injecție grd	Turație E.S.n, rot/min	Regim de lucru			Determinări	
			Timp impuls T_p μs	Intensitate I, I, A	Tensiune U, V	V_e mm³/min	γ %
10	25	—	4	14	42	47,53	41,84
			6	15	41	49,41	40,95
			8	16,5	39	51,84	39,82
			12	17	38	56,20	38,46
			24	19	36	62,24	35,91
10	50	—	4	14,5	41	52,76	41,23
			6	15,5	40	56,12	39,67
			8	17	37	57,36	38,79
			12	20	36	61,85	37,42
			24	18	33	67,98	34,88
20	25	—	4	14	42	49,22	40,02
			6	15,5	40	53,17	41,12
			8	16,5	39	54,28	37,75
			12	18	37	58,65	36,48
			24	19,5	35	66,08	33,32
20	50	—	4	14	44	56,12	39,27
			6	15,5	42	57,86	38,14
			8	17	40	60,04	37,20
			12	18	38	63,82	35,19
			24	19	36	70,23	32,36

Scanned with OKEN Scanner

Pentru punerea în evidență a rezultatelor diferite ce există în cazul prelucrării cu scule rotative și cu scule fixe s-au efectuat experimentări cu electrod-sculă cu suprafața exterioară cilindrică tip disc, experimentările de control efectuate cu electrozi-sculă pentru celelalte tipuri de suprafețe confirmînd aceleași concluzii.

Rezultatele experimentale obținute la prelucrarea suprafețelor cilindrice sînt prezentate în tabelul 14.1 în cazul utilizării sculei fixe și în tabelul 14.2 pentru sculă rotativă.

Tabelul 14.2

Rezultatele experimentale obținute la prelucrarea cu electrozi-sculă cilindrici rotativi

Material piesă: oțel C 120; Presiune dielectric: 0,2 daN/cm² Timp pauză: 4 μs

Timp de prelucrare t_i min	Unghi de injecție grd	Turație E.S.n, rot/min	Regim de lucru			Determinări	
			Timp impuls T_i, μs	Intensitate I, A	Tensiune U, V	V_e, mm³/min	γ %
10	25	40	4	13,5	44	61,37	36,11
			6	14,5	42	63,54	34,65
			8	16	39	65,08	33,42
			12	17,5	37	68,73	30,90
			24	19	35	74,06	25,87
10	25	80	4	13,5	44	64,11	32,48
			6	14,5	42	66,79	31,10
			8	16	40	68,53	29,95
			12	17,5	38	72,04	27,06
			24	18	35	77,56	22,34
10	50	40	4	14	43	62,58	30,78
			6	15	41	64,91	29,74
			8	16,5	39	67,08	28,43
			12	18	37	70,43	26,02
			24	19	35	75,59	21,85
10	50	80	4	11,5	47	74,09	29,52
			6	13	45	76,41	28,36
			8	15	42	78,72	27,41
			12	16,5	39	81,68	25,17
			24	18	37	85,75	20,98
20	50	40	4	9	46	67,80	35,21
			6	11,5	44	72,54	33,14
			8	13	42	72,67	31,94
			12	15,5	40	78,12	29,02
			24	18	38	80,08	24,50

Corespunzător acestor rezultate s-au ridicat diagramele de variație $v_e=f(T_i)$ și $\gamma=f(T_i)$, pentru unghiurile de injecție a dielectricului de $\alpha=25°$ și $\alpha=50°$: fig. 14.20 pentru scule fixe și fig. 14.21 pentru scule rotative.

Scanned with OKEN Scanner

Analiza comparativă a rezultatelor obținute în cele două cazuri de prelucrare pune în evidență avantajele prelucrării cu electrozi-sculă rotativi și anume:

— viteza de erodare mai mare cu circa 30%;

— uzura electrodului-sculă mai mică cu circa 40%;

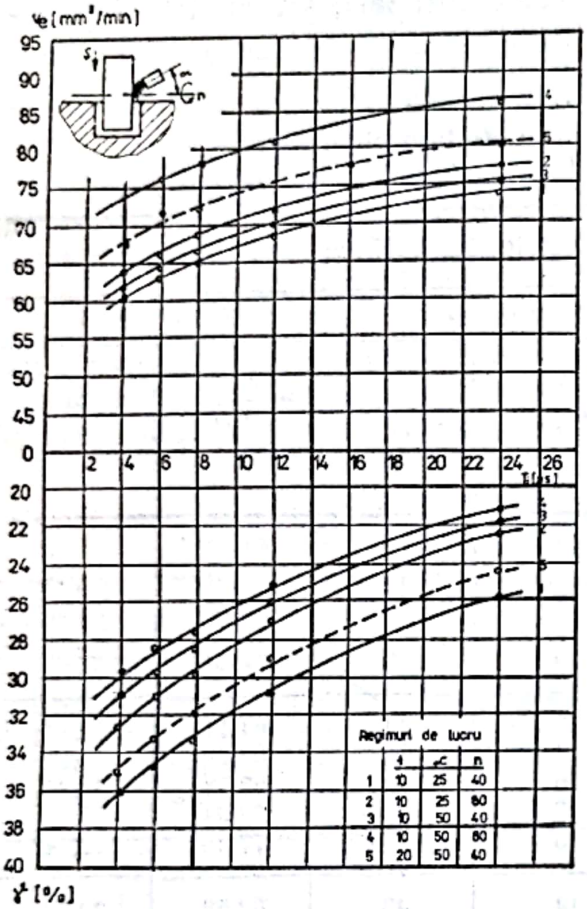


Fig. 14.20.

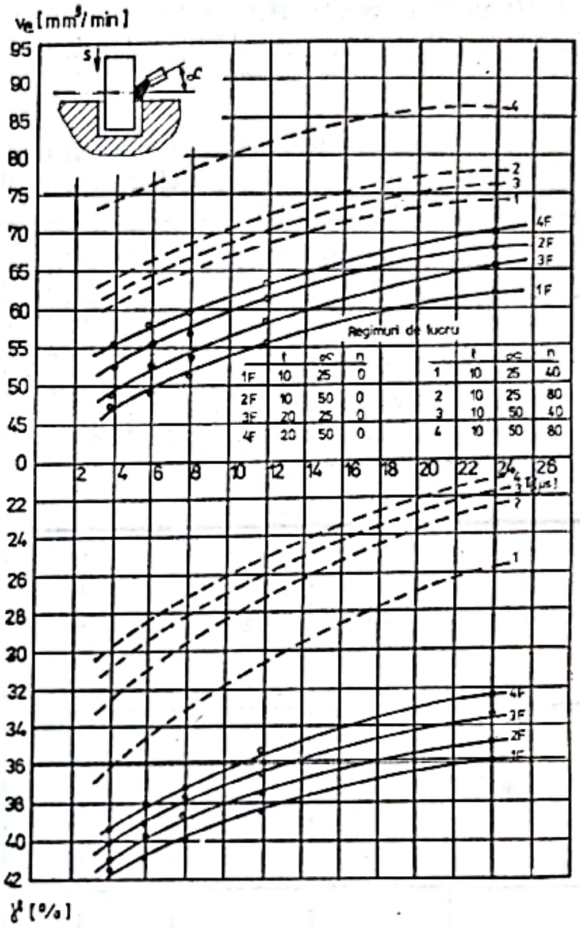


Fig. 14.21.

— distribuția uniformă a uzurii sculei, fapt ce permite reutilizarea acesteia fără corecții de formă la prelucrarea altor piese similare.

Avînd în vedere avantajele prelucrării cu scule rotative, experimentările ulterioare s-au efectuat numai în aceste cazuri, urmărindu-se aceleași interdependențe și la prelucrarea celorlalte tipuri reprezentative de suprafețe complexe de revoluție analizate.

Rezultatele experimentale sînt prezentate în tabelele 14.3, 14.4 și 14.5 pentru suprafețele exterioare tip paraboloid de revoluție, sferice și respectiv trunchi de con, iar diagramele corespunzătoare în fig. 14.22, 14.23 și 14.24.

Analiza celor patru cazuri de prelucrare a pieselor executate din oțel aliat C 120 pune în evidență faptul general valabil că, la unghiuri de injecție a dielectricului de valori mai mari ($\alpha \simeq 50°$), se obține o creștere a vitezei de erodare de circa 8—15% și o reducere a uzurii electrodului-sculă de pînă la 12—14% față de cazul în care $\alpha < 25°$.

Tabelul 14.3

Rezultatele experimentale obținute la prelucrarea cu electrozi-sculă paraboloidali rotativi

Material piesă: oțel C 120; Presiune dielectric: 0,2 daN/cm²; Timp pauză: 4 μs

Timp de prelucrare t_p, min	Unghi de injecție grd	Turație E.S. n, rot/min	Regim de lucru			Determinări	
			Timp impuls T_i, μs	Intensitate I, A	Tensiune U, V	V_e, mm³/min	γ %
10	25	40	4	12,5	39	32,08	16,02
			6	14	37	38,59	14,54
			8	14,5	36	43,26	13,35
			12	15	36	52,26	11,28
			24	16	34	67,52	7,08
10	25	80	4	13,5	39	33,51	19,83
			6	14	37	39,58	18,25
			8	15	36	45,50	16,78
			12	15,5	36	54,92	14,21
			24	16,5	35	69,81	9,18
10	50	40	4	11,5	38	35,11	12,71
			6	12	38	42,63	11,87
			8	14	36	48,00	10,23
			12	15,5	35	57,69	9,08
			24	17	34	74,43	5,94
10	50	80	4	11,5	40	38,63	13,16
			6	13	38	46,81	13,66
			8	14	37	52,31	12,42
			12	15	36	61,23	10,51
			24	16,5	35	75,87	6,58
20	50	40	4	10,5	39	30,62	19,14
			6	12	37	37,00	17,28
			8	13,5	35	42,16	15,87
			12	15	34	49,89	13,23
			24	17	33	64,42	8,04

Aceste avantaje se explică prin faptul că valorile mai mari ale lui „α" conduc la satisfacerea condițiilor de spălare tangențială, respectiv evacuarea corespunzătoare a particulelor erodate din zona de lucru.

Concluzia este și mai evidentă în cazurile prelucrării suprafețelor paraboloidale sau tronconice, cînd injecția se face dinspre partea sculei ce are diametrul mai mic, cazuri în care uzura sculei este mai redusă cu circa 8—10% față de cazul prelucrării suprafețelor cilindrice. Această di-

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 14.4

Rezultatele experimentale obținute la prelucrarea cu electrozi-sculă sferici rotativi

Material piesă: oțel C 120; Presiune dielectric: 0,2 daN/cm²; Timp pauză: 04 μs

Timp de prelucrare t_i, min	Unghi injecție de grd	Turație E.S. n, rot/min	Regim de lucru			Determinări	
			Timp impuls T_i, μs	Intensitate I, A	Tensiune U, V	V_e, mm³/min	γ %
10	25	40	4	11,5	43	28,46	35,32
			6	13	41	31,50	34,25
			8	14	39	33,17	32,24
			12	15,5	37	36,01	31,35
			24	16,5	35	40,91	28,09
10	25	80	4	12	42	31,28	37,05
			6	13,5	40	34,02	35,52
			8	14	39	36,19	34,38
			12	15	37	39,39	32,57
			24	17	35	45,01	28,93
10	50	40	4	11,5	42	46,16	39,34
			6	13	41	48,08	37,90
			8	14,5	37	50,82	36,45
			12	16	36	53,90	34,73
			24	17	35	58,07	31,12
10	25	80	4	12	42	51,41	38,10
			6	13	40	53,53	36,66
			8	14,5	38	55,61	35,52
			12	16	36	58,79	33,74
			24	17,5	34	62,88	29,95
20	50	40	4	11	44	42,16	34,03
			6	12	43	44,80	32,86
			8	13	41	46,73	31,88
			12	15	37	50,68	30,06
			24	17,5	35	54,86	26,83

ferență se mărește o dată cu pătrunderea sculei în adîncimea piesei, deoarece la suprafețele cilindrice încep să apară abateri mari de la condiția de tangență a direcției de injecție a dielectricului cu suprafața electrodului-sculă.

O altă observație foarte importantă, valabilă pentru toate cazurile studiate, este aceea că o dată cu creșterea turației electrodului-sculă se obțin creșteri ale vitezelor de erodare și reducerea sensibilă a uzurii. Aceste

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 14.5

Rezultatele experimentale obținute la prelucrarea cu electrozi-sculă tronconici rotativi

Material piesă: oțel C 120; Presiune dielectric: 0,2 daN/cm²; Timp pauză: 4 μs

Timp de prelucrare t_p, min	Unghi de injecție grd	Turație E.S. n, rot/min	Regim de lucru			Determinări	
			Timp impuls T_p μs	Intensitate I, A	Tensiune U, V	V_e, mm³/min	γ %
10	25	40	4	12	44	29,92	22,16
			6	12,5	43	34,36	21,92
			8	13,5	41	37,62	19,66
			12	15	37	43,91	17,95
			24	16,5	35	54,00	14,52
10	25	80	4	11,5	44	34,03	23,89
			6	12,5	43	37,89	22,78
			8	13,5	41	41,36	21,54
			12	15	37	47,51	19,69
			24	16,5	35	57,66	16,25
10	50	40	4	11,5	41	37,16	26,00
			6	13	39	41,95	26,91
			8	15	36	47,06	23,84
			12	16	35	54,52	21,73
			24	17	34	68,03	18,17
10	50	80	4	11,5	43	42,50	23,08
			6	12	42	46,96	21,71
			8	13,5	40	52,88	20,65
			12	15	38	61,01	18,57
			24	16,5	35	75,86	15,21
20	50	40	4	12,5	40	39,52	21,89
			6	14	38	45,00	19,75
			8	15	37	49,98	18,48
			12	16	36	57,51	16,54
			24	17,5	34	72,04	13,27

creșteri se justifică prin faptul că o dată cu creșterea turației sculei se îmbunătățesc și mai mult condițiile de spălare a zonei de lucru datorită efectului forței centrifuge de evacuare a particulelor de erodare.

Pentru analiza influenței cuplului de materiale sculă-piesă asupra parametrilor prelucrării, s-au efectuat și cercetări experimentale de prelucrare a unor suprafețe complexe exterioare (v. tipurile *b* și *c* fig. 19) în piese din carburi metalice sinterizate — G20.

Scanned with OKEN Scanner

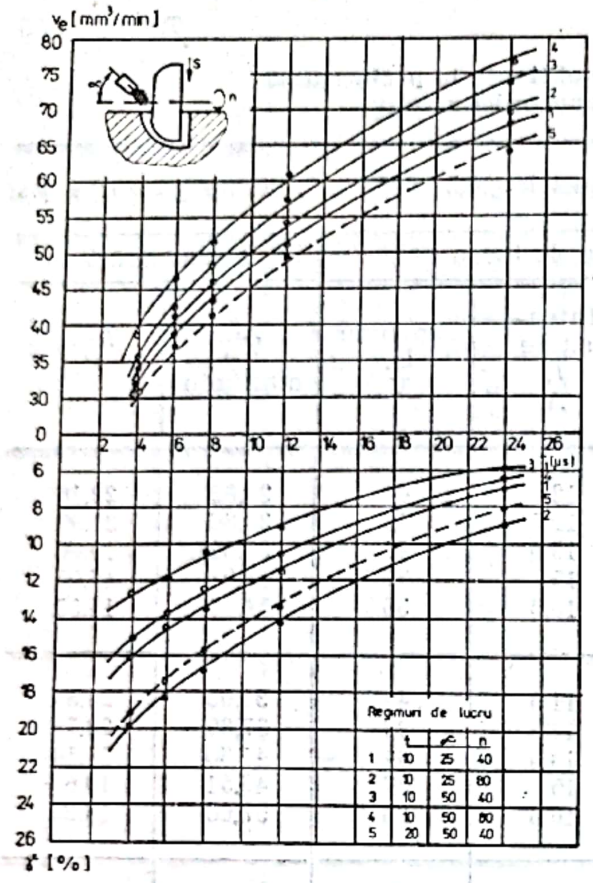


Fig. 14.22.

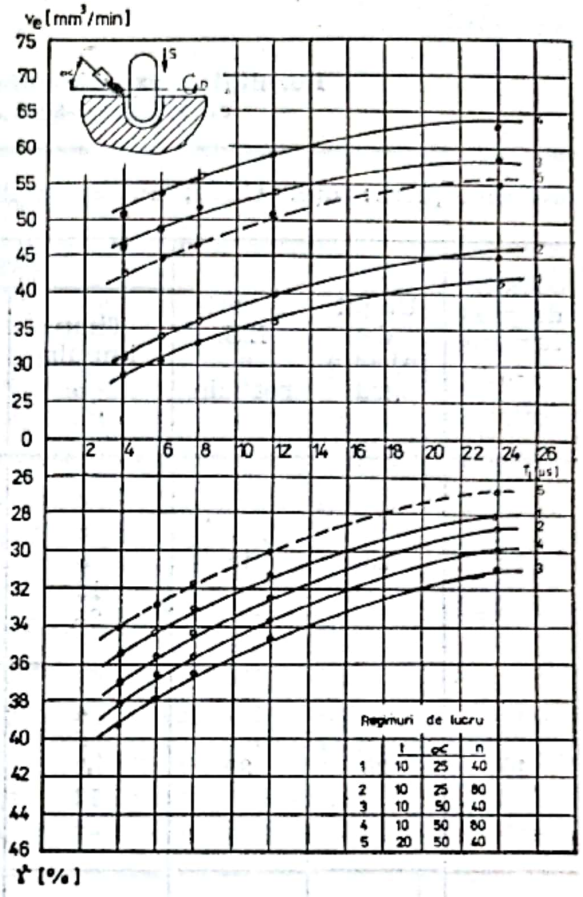


Fig. 14.23.

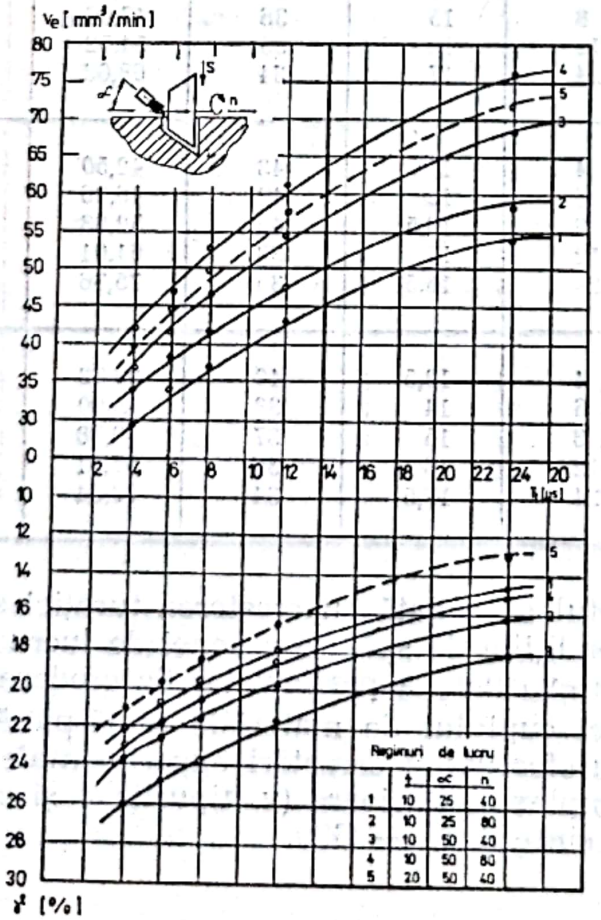


Fig. 14.24.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 14.6

Rezultatele experimentale obținute la prelucrarea cu electrozi-sculă paraboloidali rotativi

Material piesă: carbură G 20; Presiune dielectric: 0,2 daN/cm²; Timp pauză: 4 μs

Timp de prelucrare t_p, min	Unghi de injecție grd	Turație E.S. n, rot/min	Regim de lucru			Determinări	
			Timp impuls T_i, μs	Intensitate I, A	Tensiune U, V	V_e, mm³/min	γ %
10	25	40	4	11,5	39	6,86	13,52
			6	13	37	8,53	12,31
			8	14	35	9,94	11,83
			12	15,5	34	13,21	10,08
			24	18	32	19,47	7,82
10	25	80	4	13,5	39	11,18	15,21
			6	15	37	13,76	15,85
			8	16	35	15,04	13,60
			12	17,5	32	18,32	12,02
			24	18	32	24,87	9,11
10	50	40	4	13,5	40	8,35	10,02
			6	15	37	10,42	9,14
			8	16	36	12,71	8,82
			12	18	35	15,18	7,25
			24	19,5	33	22,84	5,17
10	50	80	4	14	41	17,27	13,20
			6	15,5	39	19,63	10,08
			8	17	37	20,32	9,16
			12	18	35	23,08	7,92
			24	19,5	32	28,41	5,60
20	50	40	4	14	39	13,35	12,14
			6	15	38	16,85	11,22
			8	17	36	17,59	10,96
			12	18,5	34	21,20	9,38
			24	19	34	27,17	6,20

Rezultatele obținute în cazul acestor prelucrări sînt prezentate în tabelele 14.6 și 14.7, iar diagramele corespunzătoare de variație a vitezei de erodare și uzurii sculei în fig. 14.25 și 14.26.

Comparînd rezultatele obținute la prelucrarea pieselor din oțel C 120 și a pieselor din carburi metalice G 20 — fig. 14.27 și 14.28 se observă că, în cazul prelucrării carburilor metalice — aplicîndu-se aceleași regimuri de lucru — viteza de erodare este mai redusă în medie cu

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 14.7

Rezultatele experimentale obținute la prelucrarea cu electrozi-sculă sferici rotativi

Material piesă: carbură G 20; Presiune dielectric: 0,2 daN/cm²; Timp pauză: 4 μs

Timp de prelucrare t_p, min	Unghi de injecție grd	Turație E.S. n, rot/min	Regim de lucru			Determinări	
			Timp impuls T_p μs	Intensitate I, A	Tensiune U, V	$V_{e'}$ mm³/min	γ %
10	25	40	4	11,5	42	4,83	17,45
			6	12	42	5,12	17,02
			8	14	40	7,56	15,18
			12	15	38	9,87	13,36
			24	16,5	35	15,08	9,95
10	25	80	4	12	42	7,32	17,84
			6	12,5	41	9,25	16,32
			8	13,5	39	11,17	15,90
			12	15	36	13,63	14,18
			24	16	35	19,21	10,89
10	50	40	4	12	41	5,89	13,71
			6	12,5	39	7,76	12,23
			8	14	37	8,90	11,54
			12	15	36	12,10	10,07
			24	16,5	34	16,34	5,97
10	50	80	4	11,5	43	9,92	15,68
			6	13	41	12,48	14,34
			8	15	38	13,94	13,18
			12	16	37	18,13	11,26
			24	17,5	35	24,57	6,88
20	50	40	4	12,5	41	7,96	16,62
			6	13,5	39	10,05	17,15
			8	15	37	12,38	14,10
			12	16	36	15,08	12,17
			24	17,5	34	22,24	8,10

40 mm³/min și uzura electrodului-sculă se reduce în mod corespunzător cu circa 25%.

Pentru a se putea realiza o vedere de ansamblu asupra experimentărilor efectuate la prelucrarea pieselor din oțel C 120 a celor patru tipuri de suprafețe complexe exterioare simetrice cu electrozi-sculă rotativi, s-au sintetizat rezultatele obținute prin suprapunerea diagramelor de producti-

Scanned with OKEN Scanner

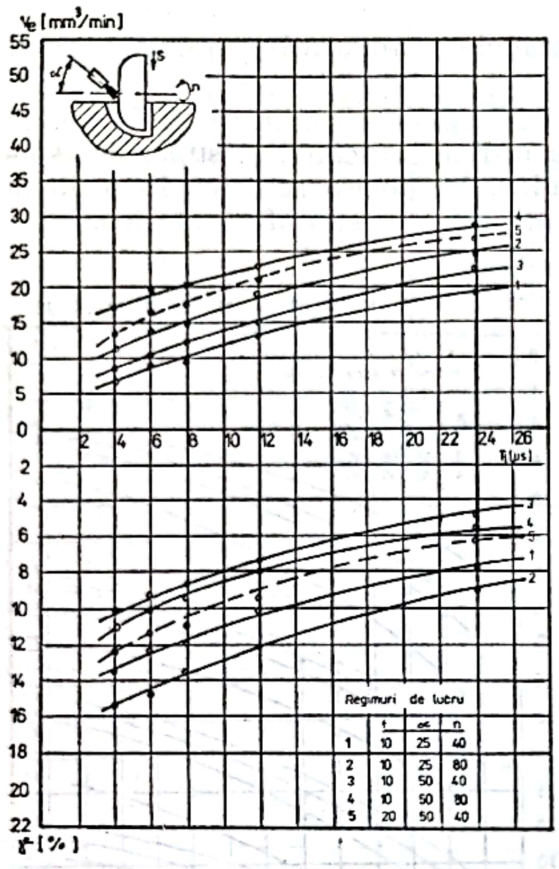


Fig. 14.25.

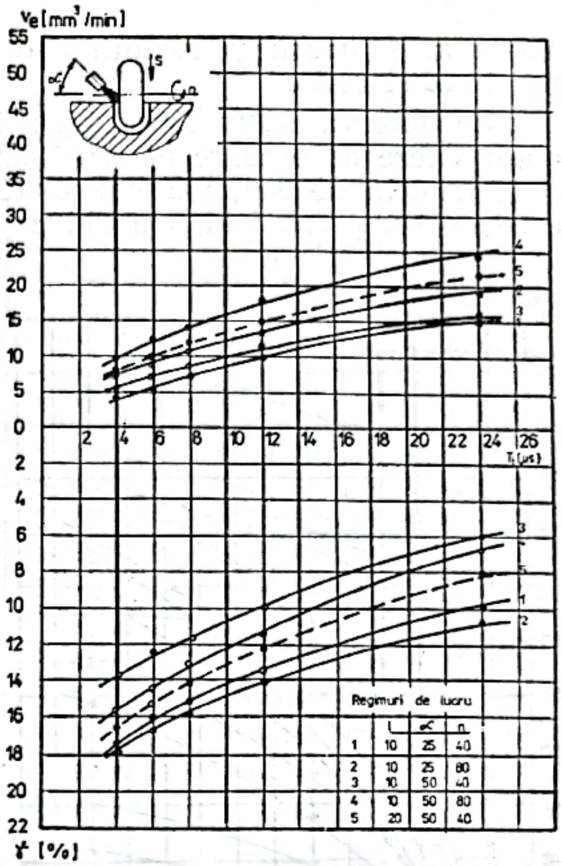


Fig. 14.26.

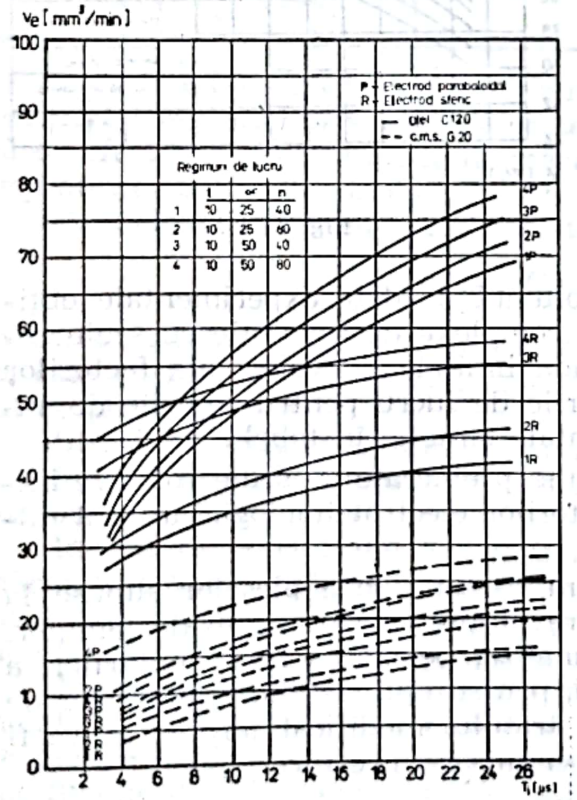


Fig. 14.27.

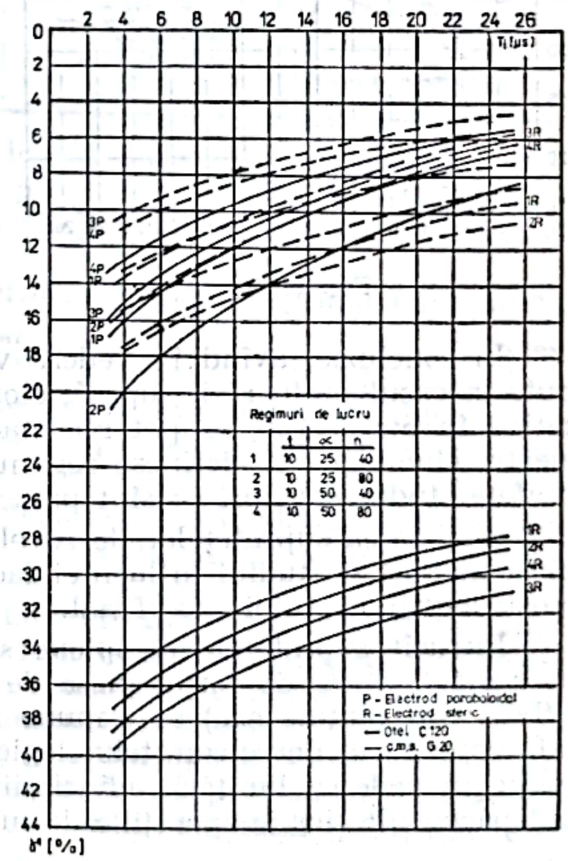


Fig. 14.28.

Scanned with OKEN Scanner

vitate v_e și uzurii γ, rezultînd diagramele comparative prezentate în fig. 14.29 și 14.30.

Se observă că, în condițiile aplicării acelorași regimuri de lucru, se obțin viteze de erodare în următoarea ordine crescătoare: suprafață sferică, trunchi de con, paraboloid, cilindru, iar uzura sculelor în ordinea crescătoare: paraboloid, trunchi de con, cilindru, suprafață sferică.

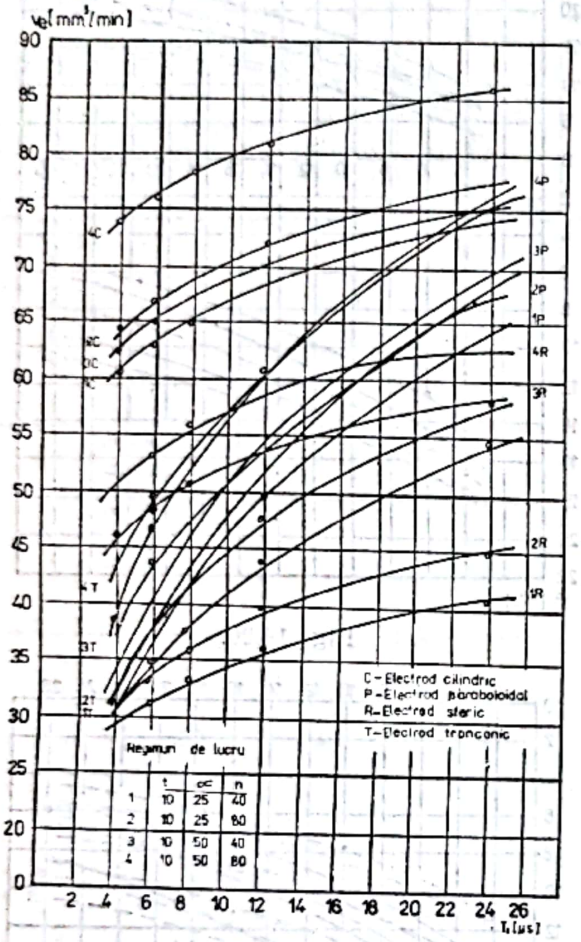


Fig. 14.29.

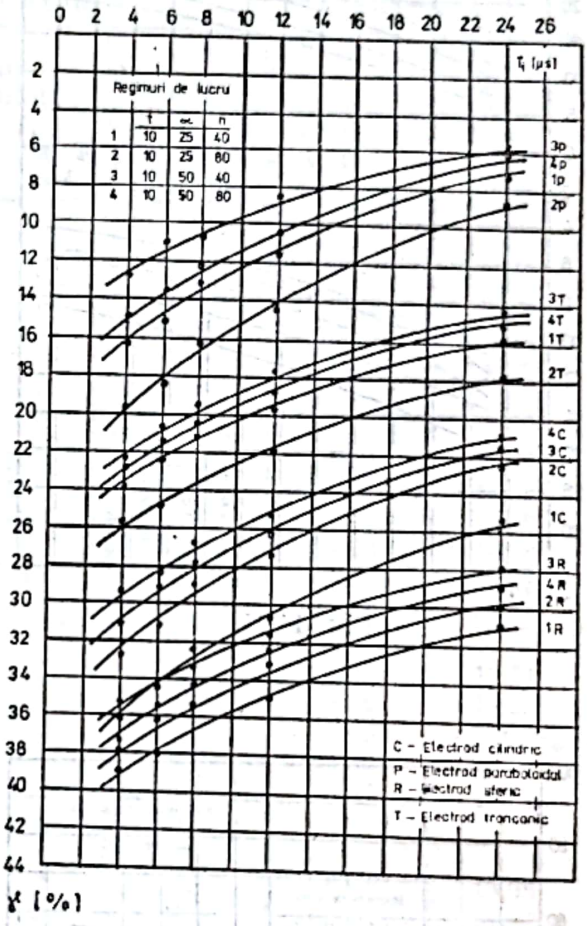


Fig. 14.30.

În concluzie, avînd în vedere volumul de date experimentale obținute în cazul prelucrării suprafețelor complexe de revoluție cu scule rotative în oțel C 120, se pot recomanda limitele de valori ale factorilor electrotehnologici ce definesc regimurile de lucru pentru tipurile de suprafețe studiate, valori ce sînt prezentate sintetic în tabelul 14.8.

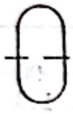
Analizarea suprafețelor de revoluție prelucrate cu scule rotative implică inerent și studiul influenței factorilor electrotehnologici asupra microstructurii stratului superficial.

Întrucît suprafețele complexe sînt caracteristice pieselor supuse la oboseală (matrițe de forjat piese de revoluție, role profilate de laminor, filiere, roți dințate ș.a.) se impune analiza, pe baza experimentărilor, a influenței factorilor electrotehnologici, pentru optimizarea regimurilor de lucru, în vederea limitării adîncimii stratului modificat termic, ce va fi îndepărtat ulterior la operațiile de superfinisare mecanice.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 14.8

Valori recomandate pentru regimurile de lucru la prelucrarea suprafețelor complexe

Tip de suprafață	Timp de impuls T_i, μs	Turație electrod-sculă, n rot/min	Unghi de injecție grd	Viteza de erodare V_e, mm³/min	Uzura electrod sculă %
	4— 8 8—14 14—20 20—26	40—80	25—50	60—76 65—83 70—86 73—88	27—36 24—33 22—30 21—27
	4— 8 8—14 14—20 20—26	40—80	25—50	30—52 42—64 52—72 60—78	10—20 8—17 7—13 6—10
	4— 8 8—14 14—20 20—26	40—80	25—50	28—55 33—60 38—63 40—64	32—39 29—37 27—34 26—32
	4— 8 8—14 14—20 20—26	40—80	25—50	30—53 37—64 45—72 52—77	18—26 16—24 14—21 12—19

Modificările structurale care au loc în stratul superficial al piesei prelucrate electroeroziv sînt datorate proceselor termice ce au loc și al căror efect variază în funcție de mărimea energiei impulsurilor, respectiv regimurilor de lucru adoptate.

Adîncimea stratului influențat termic se poate exprima cu relația:

$$h_s = C_s w_i^m [\mu m], \qquad (39)$$

în care: C_s este coeficientul ce caracterizează natura materialului piesei; w_i este energia de descărcare, J; indicele m este dependent de materialul de prelucrat.

Stratul modificat termic se caracterizează prin adîncime, structură și microduritate și mărimea lui crește o dată cu energia și durata impulsurilor.

În cadrul cercetărilor experimentale efectuate s-a studiat variația mărimii stratului influențat termic h_s funcție de factorii electrotehnologici, respectiv timpul de impuls T_i și a intensității curentului de lucru I, ale cărei valori sînt proporționale cu energia aplicată.

Analizele metalografice asupra pieselor din oțel C 120 și din carburi metalice sinterizate G 20 cu electrod-sculă de tip paraboloid de revoluție pun în evidență modul de variație a mărimii stratului influențat termic funcție de factorii electrotehnologici.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 14.9

Mărimea stratului influențat termic funcție de factorii electrotehnologici

Turația electrod-sculă: 40 rot/min		Timp pauză impuls: 4 μs	
Timp impuls t_i, μs	Intensitate curent I, A	Tensiune curent U, V	Adîncime strat h_s, μm
Material piesă: oțel C 120			
4	12,5	43	145
6	14	38	180
8	14,5	35	189
12	15	33	200
24	16,5	31	225
Material piesă: carbură G 20			
4	11,5	42	90
6	13	39	113
8	14	36	133
12	15,5	34	157
24	18	32	183

Rezultatele experimentale corespunzător regimurilor de lucru utilizate sînt prezentate în tabelul 14.9; pe baza acestora s-au ridicat diagramele prezentate în fig. 14.31 și 14.32.

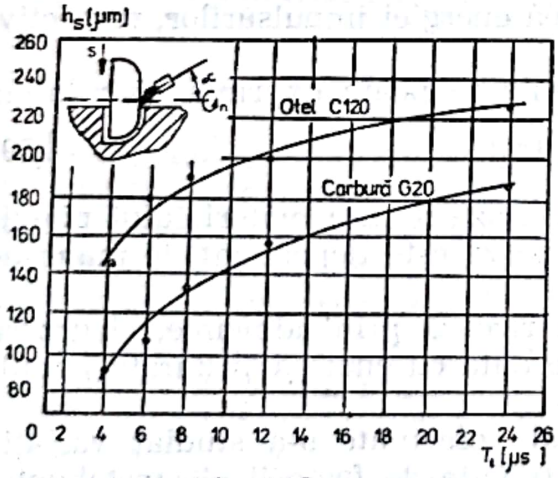


Fig. 14.31.

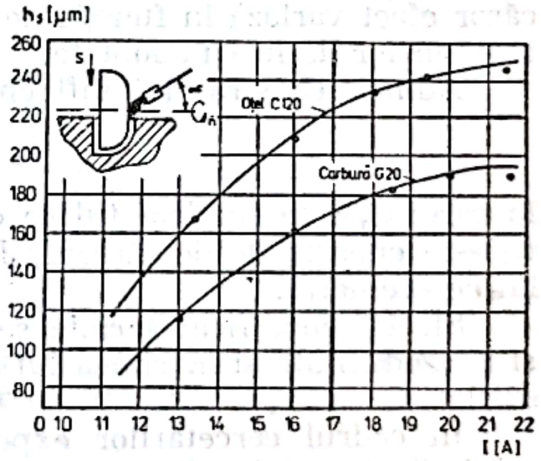


Fig. 14.32.

Influența factorilor electrotehnologici asupra rugozității suprafețelor de revoluție prelucrate prin electroeroziune cu scule rotative constituie un alt important element de analiză.

La operațiile de degroșare, caracterizate prin valori ridicate ale intensității curentului (energii mari) și frecvențe mici, rezultă o creștere

Scanned with OKEN Scanner

pronunțată a rugozității, respectiv cratere cu raze și adîncimi mari. Volumul craterului, echivalent cu al materialului prelevat din piesă, se determină cu relația:

$$V=\frac{\pi}{3}\,h^2(3r-h)\quad[\text{mm}^3], \tag{40}$$

iar adîncimea craterului funcție de energia de descărcare se exprimă prin funcția exponențială:

$$h=mw_i^p=m\left(\frac{IU}{f}\right)p\,[\text{mm}], \tag{41}$$

unde: w_i este energia de descărcare, J; I, U — valorile medii ale intensității curentului de lucru și tensiunii în interstițiu, A, V; f — frecvența impulsurilor, Hz; m — coeficient funcție de natura materialului prelucrat (pentru oțel $m=190$; pentru aliaje dure $m=70$); p — coeficient de proporționalitate (0,33—0,4).

Suprafețele erodate prezintă un aspect mat și omogen, avînd ca efect creșterea rezistenței la uzură a pieselor prelucrate electroeroziv, precum și ușurarea execuției operațiilor ulterioare de superfinisare mecanică.

Tabelul 14.10

Valori ale rugozității funcție de factorii electrotehnologici

Timp de prelucrare: 10 min	Unghi de injecție: $\alpha=25°$		Timp pauză impuls: 4 μs	
Turație electrod-sculă n, rot/min	Regim de lucru			Rugozitate R_a, μm
	Timp impuls T_i, μs	Intensitate curent I, A	Tensiune curent U, V	
Electrod cilindric fix				
—	4	14	42	2,7
	6	15	41	3,2
	8	16,5	39	3,6
	12	17	38	4,3
	24	19	36	5,3
Electrod cilindric rotativ				
40	4	13,5	44	1,4
	6	14,5	42	1,8
	8	16	39	2,3
	12	17,5	37	3,1
	24	19	35	4,3
40	6	13,5	44	1,1
	4	14,5	41	1,3
	8	16	41	1,8
	12	17	38	2,4
	24	18	36	3,5

Scanned with OKEN Scanner

În cadrul programului de cercetări experimentale privind prelucrarea suprafețelor complexe cu electrozi rotativi, s-au studiat influențele ce le au asupra rugozității variația timpului de impuls T_i și turația sculei n.

În acest scop au fost aplicate diferite regimuri de lucru asupra suprafețelor prelucrate cu electrozi de tip cilindric ficși și rotativi.

Unele dintre rezultatele obținute sînt prezentate în tabelul 14.10, pe baza cărora s-au ridicat diagramele din fig. 14.33.

De asemenea, în cadrul cercetărilor experimentale efectuate s-a urmărit din punct de vedere al preciziei dimensionale de prelucrare — variația interstițiului de lucru lateral X_e funcție de mărimea timpului de impuls T_i, în cazurile prelucrării cu electrozi-sculă ficși și rotativi cilindrici, aplicîndu-se regimuri de lucru cu unghiul de injecție și viteza de rotație a electrodului-sculă variabile, cu valorile: $\alpha=25°$; 50° și $n=40$; 80 rot/min.

Determinarea interstițiului de lucru s-a realizat prin efectuarea diferenței algebrice între lățimea cavității materializată în piesă (prin măsurarea cu microscopul de atelier) și grosimea electrodului-sculă după

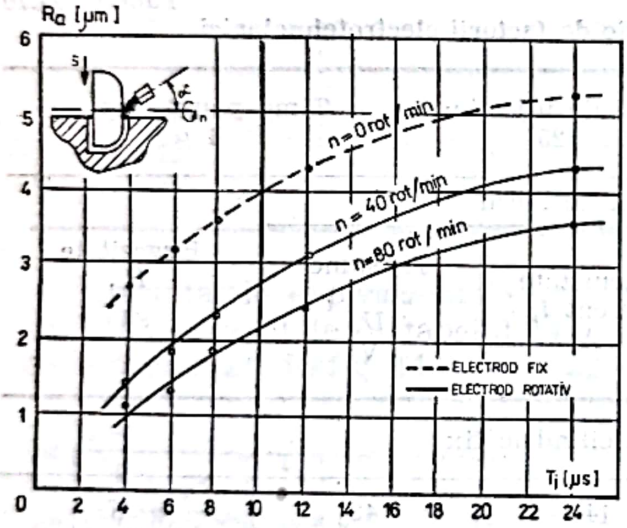


Fig. 14.33.

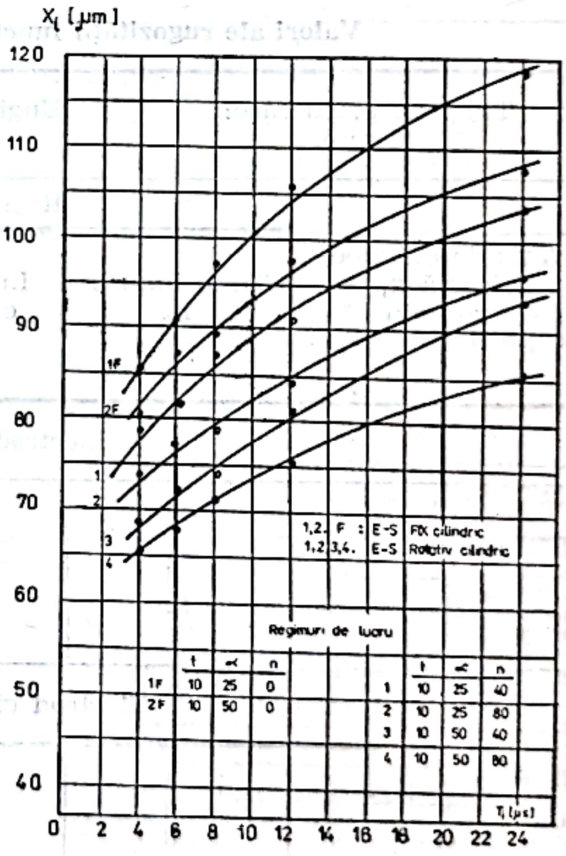


Fig. 14.34.

prelucrare (măsurată cu micrometrul cu pîrghie — valoarea diviziunii = =0,002 mm).

Rezultatele experimentale obținute la prelucrarea pieselor din oțel C 120 cu electrozi-sculă cilindrici sînt prezentate în tabelul 14.11 și corespunzător acestor rezultate s-au ridicat diagramele comparative $X_e = f(T_i)$, prezentate în fig. 14.34.

Tabelul 14.11

Valori ale insterstițiului de lucru funcție de factorii electrotehnologici

Timp de prelucrare t_i: 10 min; Timp de pauză: 4 μs

Unghi de injecție, grd	Turație E.S.n, rot/min	Regim de lucru			Interstițiu de lucru, X_{le} μm
		Timp impuls T_p μs	Intensitate I, A	Tensiune U, V	
Electrod-sculă cilindric fix					
25	—	4	14	42	86
		6	15	41	92
		8	16,5	39	97
		12	17	38	106
		24	19	36	118
50	—	4	14,5	41	81
		6	15,5	40	87
		8	17	37	89
		12	18	36	97
		24	20	33	108
Electrod-sculă cilindric rotativ					
25	40	4	13,5	44	78
		6	14,5	42	82
		8	16	39	87
		12	17,5	37	91
		24	19	35	104
25	80	4	13,5	44	74
		6	14,5	42	77
		8	16	40	79
		12	17,5	38	84
		24	18	35	96
50	40	4	14	43	68
		6	15	41	72
		8	16,5	39	74
		12	18	37	81
		24	19	35	93
50	80	4	11,5	47	65
		6	13	45	68
		8	15	42	72
		12	16,5	39	75
		24	18	37	86

Studiul efectuat pune în evidență faptul că în condițiile utilizării acelorași regimuri de lucru mărimea interstițiului lateral controlabilă X_e este mai mică la prelucrarea cu scule rotative cu circa 25% față de prelucrarea cu scule fixe.

Scanned with OKEN Scanner

Trebuie menționat faptul că, pentru a se asigura controlul măsurărilor efectuate, centrarea electrozilor-sculă a fost realizată în plan frontal și radial cu o bătaie de max. 0,01 mm, în toate cazurile de prelucrări.

Prin aceste măsuri luate s-a obținut o precizie de prelucrare sporită, materializată prin valori ale interstițiului lateral cu 15—20 μm mai mici comparativ cu prelucrările efectuate cu electrozi-sculă ficși.

5. Avantaje economice ale utilizării sculelor rotative la prelucrarea prin electroeroziune

Adoptarea diferitelor soluții tehnologice moderne de prelucrare a suprafețelor de revoluție în plăci active de ștanțe și matrițe și alte tipuri de piese implică o analiză tehnico-economică detaliată a acestora, avînd în vedere faptul că prelevarea de material se poate face numai prin procedee neconvenționale, metode care sînt, în general, consumatoare de energie electrică și materiale deficitare (cupru electrolitic etc.).

De exemplu, analiza procesului tehnologic de execuție a pieselor cu configurații de revoluție interioare, pune în evidență, în cazul operațiilor de prelucrare prin electroeroziune a acestor forme, două variante tehnologice, și anume cele de prelucrare cu electrod-sculă fix sau cu scule rotative.

Determinarea variantei optime de prelucrare implică analiza economică comparativă a soluțiilor propuse în ordinea succesiunii operațiilor în procesul tehnologic stabilit.

Astfel, avantajele economice ale introducerii în procesul tehnologic de fabricație a unei noi tehnologii, și în cazul de față a dispozitivelor cu scule rotative prezentate, rezultă din analiza „costului fabricației unei piese" în cele două variante de prelucrare (cu electrod-sculă fix, respectiv cu scule rotative). Această analiză se efectuează prin determinarea următoarelor componente, ai căror termeni sînt explicați în tabelul 14.12 calculul analitic fiind efectuat pentru o producție de 1 000 astfel de repere prelucrate anual:

— Costul retribuției directe (manoperei) — C_r, determinat cu ajutorul relației:

$$C_{r1-2} = \sum_{i=1}^{l} \frac{t_{oi1,2}}{60} K_s r_{ti1,2} + \sum_{i=1}^{l} \frac{t'_{pi1,2}}{60} \cdot \frac{1}{n_{1,2}} \cdot r_{tri1,2} \text{ [lei/piesă]}, \qquad (42)$$

unde: r_t este retribuția tarifară a muncitorului de bază, lei/oră; t'_{pi} — timpul de pregătire-încheiere necesar pentru operația de reglare a electrozilor-sculă, ore/piesă; n — numărul de piese prelucrate după care se execută reglarea; r_{tr} — retribuția tarifară a muncitorului reglor, lei/oră; t_0 — timpul operațional, min/piesă, determinat cu ajutorul relației:

$$t_{oi} = t_{ef1,2} + \frac{t_{p1,2}}{n_{1,2}} \text{ [ore/piesă]}, \qquad (43)$$

în care: $t_{ef1,2}$ este timpul efectiv de prelucrare (suma timpilor de bază și auxiliar), ore/piesă, iar $t_{p1,2}$ — timpul de pregătire-încheiere pentru ope-

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 14.12

Elemente de calcul tehnico-economic

Elemente de prelucrare efectiv	Simbol		Timpul de prelucrare (ore)	
			Cu sculă fixă	Cu sculă rotativă
Timpul de prelucrare efectiv	t_{ef}	ore/piesă	2	0,7
Timpul de pregătire-încheiere al muncitorului de bază	t_p	ore/piesă	0,2	0,3
Timpul de pregătire-încheiere al muncitorului reglor	t'_p	ore/piesă	0,2	0,3
Retribuţia tarifară a muncitorului de bază	r_t	lei/oră	11,85	11,85
Retribuţia tarifară a muncitorului reglor	r_{tr}	lei/oră	15,40	15,40
Coeficientul de simultaneitate	K_s		1	1
Numărul de piese după care se execută reglarea	n	buc	1	1
Cost retribuţie directă	C_r	lei/piesă	30,7	16,5
Impozitul	Imp	lei/piesă	5,06	2,7
Cota de asigurări sociale	CAS	lei/piesă	5,36	2,9
Costul sculelor	C_{sc}	lei/sculă	22,50	22,50
Numărul de electrozi-sculă necesari	n_{sc}	buc	3 000	1 000
Volumul anual de producţie	N_g	buc	1 000	1 000
Cota procentuală pentru reparaţia sculelor	R_{sc}	%	20	20
Cota de recuperare a costului electrozilor-sculă	C_{rsc}	lei/piesă	81	27
Durata de recuperare a cheltuielilor pentru dispozitive	αd	ani	—	1
Cota procentuală pentru reparaţia dispozitivelor	R_d	%	—	20
Costul dispozitivelor speciale	C_{DS}	lei/disp.	—	10 000
Cota de recuperare a costului dispozitivelor speciale	C_{rd}	lei/piesă	—	12
Regia de fabricaţie a secţiei	R_{fs}	%	153	153
Cheltuieli comune ale secţiei	C_{rf}	lei/piesă	47	25,25
Costul de fabricaţie al unei piese	C_p	lei/piesă	169	86

raţia de prelucrare, ore/piesă. Indicele i $(1 \ldots l)$ exprimă numărul de operaţii al variantei tehnologice analizate, iar indicii „*1*" şi „*2*" sînt aferenţi celor două soluţii tehnologice de prelucrare, analizate comparativ.

Coeficientul K_s este un coeficient de simultaneitate a executării mai multor piese în cadrul aceluiaşi loc de muncă, şi se determină cu ajutorul relaţiei:

$$K_s = \frac{1}{n_{s1,2}} \qquad (44)$$

unde: n_s reprezintă numărul de piese prelucrate simultan în cadrul operaţiei analizate, pentru cele două variante tehnologice considerate.

Scanned with OKEN Scanner

— Cheltuielile cu impozitul — $I_{mp1,2}$ și contribuția anuală la cota de asigurări sociale $CAS_{1,2}$ (pe retribuția directă) la operația analizată sînt elemente determinate cu relațiile:

$$I_{mp1,2}=\frac{16,5}{100}\cdot C_{r1,2} \quad \text{[lei/operație]}; \tag{45}$$

$$CAS_{1,2}=\frac{15}{100}\cdot(C_{r1,2}+I_{mp1,2}) \quad \text{[lei/operație]}. \tag{46}$$

— Cheltuielile comune ale secției C_{rf} sînt calculate cu ajutorul relației:

$$C_{rf1,2}=C_{r1,2}R_{fs} \quad \text{[lei/piesă]}, \tag{47}$$

unde R_{fs} reprezintă regia de fabricație a secției, %.

— Cota de recuperare a costului electrozilor-sculă — $C_{rsc1,2}$ se determină cu ajutorul relației:

$$C_{rsc1,2}=\frac{C_{sc1.2}\left(1+\frac{R_{sc}}{100}\right)n_{sc1.2}}{N_g} \quad \text{[lei/piesă]}, \tag{48}$$

unde: C_{sc} reprezintă costul electrozilor-sculă, lei/sculă; R_{sc} — cota procentuală pentru reparația sculelor, %; n_{sc} — numărul de scule necesare prelucrării volumului anual de piese, N_g.

— Cota de recuperare a costului dispozitivelor speciale — C_{rd} care se determină cu relația:

$$C_{rd1,2}=\frac{C_{DS}\left(\frac{1}{\alpha d}+\frac{R_d}{100}\right)}{N_g} \quad \text{[lei/piesă]}, \tag{49}$$

unde: C_{DS} este costul dispozitivului utilizat la prinderea și centrarea electrozilor-sculă, lei/dispozitiv; α_d — durata de recuperare a cheltuielilor pentru dispozitive, ani; R_d — cota procentuală pentru repararea dispozitivelor, %.

În aceste condiții, costul fabricației unei piese — $C_{p1,2}$, determinat în cele două variante, este dat de relația:

$$C_{p1,2}=C_{r1,2}+I_{mp1,2}+CAS_{1,2}+C_{rf1,2}+C_{rsc1,2}+C_{rd1,2} \quad \text{[lei/piesă]}. \tag{50}$$

Ca urmare, eficiența economică a introducerii noului procedeu tehnologic (prelucrarea cu scule rotative) se poate pune în evidență (pe baza datelor prezentate în tabelul 12) printr-o serie de efecte economice rezultate:

a. *Efecte economice însumabile ca acumulări suplimentare*, ca de exemplu:

— economia la fondul de retribuire — E_r, ca urmare a reducerii timpului efectiv de lucru și care se determină cu relația:

$$E_r=(C_{r1}-C_{r2})N_g=1\,420 \quad \text{[lei/an]}; \tag{51}$$

— economia datorată reducerii consumului energetic — E_e, determinată cu relația:

$$E_e=(C_{w1}-C_{w2})N_g=2\,000 \quad \text{[lei/an]}, \tag{52}$$

Scanned with OKEN Scanner

unde: C_w reprezintă costul energiei electrice utilizate în scopuri tehnologice în cazul celor două variante comparate, determinat cu relația:

$$C_{w1,2}=C_m(P_{me1,2}+P_{aux1,2})t_{ef1,2} \quad \text{[lei/piesă]}, \tag{53}$$

unde: P_{me} reprezintă puterea necesară prelucrării prin electroeroziune în cazul celor două procedee, mărimea ei putînd fi determinată cu relația:

$$P_{me1,2}=\frac{U_{1,2}\,I_{1,2}}{\eta} \text{ [kW]} \tag{54}$$

În relațiile (53) și (54) U reprezintă tensiunea, V; I — intensitatea necesară prelucrării prin cele două procedee, A; $\eta=0{,}9$ — randamentul motoarelor; $C_m=1$ lei/kWh — tariful unitar mediu al energiei electrice consumate; $P_{aux1,\,2}$ reprezintă puterea auxiliară a pompelor și accesoriilor, kW și se calculează cu ajutorul relației:

$$P_{aux1,2}=0{,}3\,P_{me1,2} \quad \text{[kW]}. \tag{55}$$

Avînd în vedere faptul că prelucrarea prin electroeroziune cu o sculă fixă a unei astfel de piese (cu profil interior de revoluție) durează circa două ore la un regim de lucru caracterizat prin tensiunea $U_1=80$ V și intensitatea $I=15$ A, rezultă un cost al energiei electrice consumate: $C_{w1}=$ $=3{,}5$ lei/piesă.

În cazul prelucrării cu sculă rotativă, intensitatea curentului de lucru va fi tot $I=15$ A, dar durata prelucrării va fi doar de circa 0,7 ore. Deoarece tensiunea de lucru are aceeași valoare ($U_1=U_2=80$ V), se obține un cost al energiei electrice consumate $C_{w2}=1{,}35$ lei/piesă.

b. *Efectul economic datorat creșterii previzibile a producției*, determinat cu relația:

$$N_p=N_{p2}-N_{p1}=3\,370 \quad \text{[piese/an]}, \tag{56}$$

unde: $N_{p1,2}$ reprezintă creșterea previzibilă a volumului anual de produse în cele două variante tehnologice, creștere determinată cu ajutorul relației:

$$N_{p1,2}=\frac{F_d}{t_{0\,1.2}} \text{ [piese/an]}, \tag{57}$$

unde F_d este fondul de timp disponibil anual al unei instalații electroerozive ($F_d=4\,600$ ore/an).

c. *Economia totală de timp de muncă*, determinată cu relația:

$$T_t=N_g(t_{02}-t_{01})=1\,300 \quad \text{[ore/an]}. \tag{58}$$

d. *Creșterea efectivă a productivității muncii*, calculată cu relația:

$$\Delta W_p=W_2-W_1=0{,}93 \quad \text{[piese/oră]}, \tag{59}$$

unde: W reprezintă numărul de piese prelucrate într-o oră, prin cele două variante de proces tehnologic.

De asemenea, avantajele introducerii noii metode de prelucrare sînt puse în evidență de următorii indicatori sintetici:

— coeficientul eficienței economice — E_c, determinat cu relația:

$$\varepsilon_c=\frac{E_a}{I_2}=8{,}3\left[\frac{\text{lei acumulări suplimentare}}{\text{leu investit}}\right] \tag{60}$$

Scanned with OKEN Scanner

unde: $\varepsilon_c > \varepsilon_{normat}$, $\varepsilon_n = 0{,}3$ [lei acumulări suplimentare/lei]; E_a reprezintă economia realizată la producția anuală de 1 000 piese/an prin utilizarea procedeului de prelucrare prin electroeroziune cu scule rotative și care poate fi calculată cu relația:

$$E_a = \Delta C_p N_g = 82\,800 \quad \text{[lei/an]}, \tag{61}$$

unde:

$$C_p = C_{p1} - C_{p2} = 83 \quad \text{[lei/piesă]}, \tag{62}$$

iar $I_2 = 10\,000$ lei — reprezintă investiția realizată prin proiectarea și execuția *SDV*-urilor pentru noua tehnologie;

— durata de recuperare calculată — t_{rc} a investițiilor suplimentare, determinată cu relația:

$$t_{rc} = \frac{1}{\varepsilon_c} = 0{,}12 \quad \text{[ani]}. \tag{63}$$

Din relația (63) rezultă că $t_{rc} < t_{ru} = 1 \ldots 2$ ani (termenul de recuperare normat pentru dispozitive de complexitate medie).

Se poate afirma deci, că varianta propusă de prelucrarea prin electroeroziune cu scule rotative a pieselor cu profile interioare de revoluție își dovedește pe deplin aplicabilitatea, atît în acest caz analizat cît și în orice alt caz similar de prelucrare.

Creșterea posibilă a productivității, reducerile însemnate de manoperă, economia de energie electrică, sînt elemente importante, rezultante de bază ale noii metode de prelucrare propusă, factori care concură atît la asigurarea unei încărcări corespunzătoare a parcului de utilaje cît și la obținerea unor însemnate beneficii.

Analiza economică efectuată pune în evidență posibilitatea creșterii producției în condițiile unei utilizări intensive și extensive (prin asimilarea de noi produse) a utilajelor existente, fără efectuarea unor investiții importante.

Utilizarea corespunzătoare a acestor utilaje creează premizele extinderii producției pentru o gamă mai variată de tipodimensiuni, ceea ce are ca rezultat realizarea unor însemnate beneficii anuale.

BIBLIOGRAFIE

1. GAVRILAȘ, I. și MARINESCU, N. I. *Prelucrarea prin electroeroziune și electrochimică-abrazivă*. Editura Tehnică, București, 1980.
2. MARINESCU, N. I., GAVRILAȘ, I., MARINESCU, R. D. și PETRE, M. *Tehnologii de prelucrare a sculelor din materiale dure și extradure*. Editura Tehnică, București, 1985.
3. PETRE, M. *Unele aspecte teoretice și rezultate experimentale obținute la prelucrarea prin electroeroziune a suprafețelor complexe*. Referat doctorat, IPB, 1985.
4. * * * Cartea mașinii ELER-01.

Scanned with OKEN Scanner

15

Nitrurarea ionică și borurarea — tehnologii moderne și eficiente de durificare superficială a pieselor finite din oțeluri sau fonte

Dr. fiz. *Petre Croitoru*
Dr. fiz. *Cristian Ruset*
Institutul de Fizică și Tehnologia Aparatelor cu Radiații IFTAR

Creșterea durabilității pieselor confecționate din oțeluri sau fonte și, implicit, a competitivității, respectiv a fiabilității mașinilor și instalațiilor în care acestea sînt încorporate, se impune astăzi, pe plan mondial, cu mare acuitate, datorită, în primul rînd, creșterii importante a prețului materiilor prime, inclusiv al energiei. O soluție o constituie creșterea durității superficiale a pieselor finite prin nitrurare ionică, tehnologie în curs de generalizare în multe țări, inclusiv în România, sau prin borurare, tehnologie complementară aflată încă la începuturile aplicațiilor industriale în lume.

1. Nitrurarea ionică

Nitrurarea ionică are loc ca urmare a combinațiilor superficiale și a difuziei atomilor rapizi de azot, rezultați din ionii accelerați în căderea catodică a unei descărcări luminiscente, în amestec azot-hidrogen (amoniac disociat), sau prin retrodifuzia particulelor pulverizate catodic și reprezintă, în ansamblu, un proces de sorbție a azotului în piesele de nitrurat, fixarea interstițială a acestuia, inclusiv prin substituția carbonului, și formarea unei soluții solide. Se obțin astfel straturi superficiale cu durități pînă la 1 200—1 500 $HV_{0,1}$ și grosimi pînă la un milimetru, funcție de marca de oțel, durata de nitrurare și temperatura de lucru.

În prezent în cadrul Institutului Central de Fizică ICEFIZ se fabrică (cu colaborarea Întreprinderii Electrotehnica), sau se află în proiectare (colaborator Institutul de Cercetare Științifică și Inginerie Tehnologică pentru Automatizări) următoarele tipodimensiuni de instalații de nitrurare ionică (INI):

INI-30 (30 kW) — suprafața maximă de nitrurat cca 2 m^2;

Scanned with OKEN Scanner

INI-70 (70 kW) — suprafața maximă de nitrurat cca 5 m²;

INI-150 (150 kW) — suprafața maximă de nitrurat cca 10 m².

Instalațiile se realizează după soluții proprii brevetate, de calitate superioară, și anume: putere constantă în toată gama tensiunii de lucru (400—900 V), posibilitatea de a nitrura șarje, la încărcătura nominală, pînă la valori ridicate ale presiunii de lucru (pînă la 10 torr), automatizare completă.

Instalațiile INI (ICEFIZ) au o construcție modulară, tipizată, beneficiarul putîndu-și alege, în funcție de necesitățile sale specifice, una sau alta dintre combinațiile posibile date de:

— 5 tipuri de echipamente electrice (30/70/150/300/450 kW);

— 5 tipodimensiuni de recipiente de tip puț (șarja suspendată, izolat, de capac);

— 2 tipodimensiuni de recipiente de tip clopot (șarjare pe vatră);

— 3 tipuri de grupuri de vidare.

La rîndul lor, corpurile recipientelor de tip puț (∅ 0,6×0,8 m; ∅ 0,8×2 m; ∅ 0,8×4 m; ∅ 1,5×2 m), cu același diametru, pot fi înseriate (suprapuse) pentru a forma un recipient mai lung (exemplu ∅ 0,8×4+∅ 0,8×2=∅ 0,8×6 m).

Pentru a se elimina timpii morți, corespunzători răcirii, dejarjării, șarjării, instalația INI poate fi dotată cu două recipiente (identice sau diferite), racordate la același grup de vidare și, alternativ, la același echipament electric.

Pentru instalațiile livrate de ICEFIZ se asigură beneficiarilor și următoarele servicii:

— asistență tehnică la amplasarea instalației;

— asistență tehnică la montarea și punerea ei în funcțiune;

— școlarizarea personalului operator și de întreținere a instalației;

— elaborarea tehnologiei de nitrurare ionică pentru diferite repere ale beneficiarului;

— asistență tehnică la proiectarea dispozitivelor de șarjare pentru aceste repere;

— asistență tehnică la efectuarea primelor șarje tehnologice la beneficiar (introducerea în fluxul de producție).

Față de procedeele clasice de nitrurare, nitrurarea ionică prezintă avantaje nete, care pot fi rezumate astfel:

— piesele nitrurate ionic dobîndesc proprietăți mecanice superioare în stratul superficial (strat compact, monofazic, tenace, dar și plastic, care le conferă o durabilitate crescută;

— consumul de energie electrică și de amoniac este substanțial micșorat; energia electrică consumată este proporțională cu suprafața pieselor de nitrurat;

— lipsa totală a toxicității și poluării;

— ușurință în controlul procesului de nitrurare și reproductibilitate bună a rezultatelor;

— lipsa, practic totală, a deformării pieselor tratate;

— durata tratamentului ne nitrurare ionică, pentru obținerea aceleiași grosimi de strat, este cu cca 50% mai mică decît la nitrurarea gazoasă.

Scanned with OKEN Scanner

Se menționează cîteva dintre reperele care sînt nitrurate ionic: matrițe, scule aşchietoare, diverse organe de mașini, ca arbori cotiți, roți dințate, cămăși de cilindru, bolțuri, axe planetare, fuzete etc.

Durata de exploatare a reperelor nitrurate ionic față de aceleași repere nenitrurate crește în medie cu 200—300%, fapt care determină o eficiență economică deosebită a acestei tehnologii.

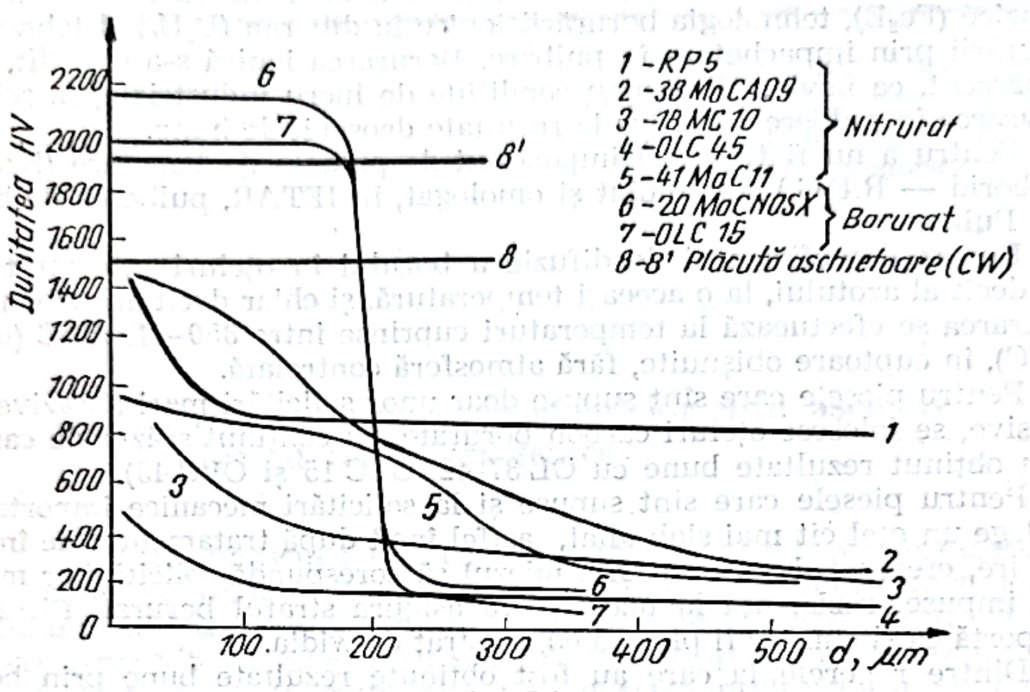


Fig. 15.1.

Pentru cîteva mărci de oțeluri, folosite frecvent la execuția reperelor ce urmează a fi nitrurate, sînt prezentate, în fig. 15.1, curbele de variație a durității *HV* cu adîncimea *d*, în stratul nitrurat ionic, comparativ cu valorile durității straturilor borurate și a plăcuțelor aşchietoare din carburi de wolfram (widia).

Pînă în prezent ICEFIZ a livrat peste 60 instalații de nitrurare ionică INI-30/70/150. Un număr însemnat de instalații de nitrurare ionică de 10 kW (Nitrion 10) a livrat Întreprinderea Metalotehnica din Tg. Mureș, instalații concepute de CCSITMUIU — Filiala Tg. Mureș.

2. Borurarea

Duritatea superficială, foarte ridicată, pe care borurarea o conferă pieselor confecționate din oțel (HV 1 800—2 200 pentru oțeluri carbon și pînă la HV 3 000 pentru oțeluri aliate), precum și proprietățile refractare (pînă la 1 000°C) și anticorosive astfel dobîndite pentru stratul borurat (grosime pînă la cca 0,2 mm, funcție de tipul oțelului), deschid posibilități largi de aplicare a acestei tehnologii, cu precădere la repere supuse unor solicitări severe la uzură abrazivă sau corosivă.

Scanned with OKEN Scanner

Deși durificarea prin borurare este studiată de multă vreme, mediile de borurare utilizate nu au permis obținerea unor rezultate care să permită trecerea la aplicații industriale eficiente. Straturile superficiale erau bi- sau trifazice, conținînd pe lîngă faza Fe_2B, dură, dar și tenace, și faza FeB sau chiar și B. În plus unele medii creează, pe suprafața pieselor borurate, o crustă greu de îndepărtat.

La IFTAR s-a abordat, pentru obținerea unor straturi borurate monofazice (Fe_2B), tehnologia borurării ionice în diboran (B_2H_6) și tehnologia borurării prin împachetare în pulbere. Borurarea ionică s-a dovedit, pînă în prezent, ca neviabilă, pentru condițiile de lucru industriale, în schimb borurarea în pulbere a condus la rezultate deosebit de bune.

Pentru a nu fi tributari importului de pulbere de borurare (Ekabor, Durborid — R.F.G.) s-a studiat și omologat, în IFTAR, pulberea de borurare Pulbor.

Deoarece coeficientul de difuzie a borului în oțeluri este mult mai mic decît al azotului, la o aceeași temperatură, și chiar decît al carbonului, borurarea se efectuează la temperaturi cuprinse între 850—1 000°C (uzual 900°C), în cuptoare obișnuite, fără atmosferă controlată.

Pentru piesele care sînt supuse doar unor solicitări mari abrazive sau corosive, se folosesc oțeluri carbon borurate, cu conținut scăzut de carbon (s-au obținut rezultate bune cu OL 37-42, OLC 15 și OLC 45).

Pentru piesele care sînt supuse și la solicitări mecanice importante, se alege un oțel cît mai slab aliat, astfel încît după tratamentul de îmbunătățire, efectuat după borurare, miezul să corespundă solicitărilor mecanice impuse; rezistența la uzură o va asigura stratul borurat. Piesa se comportă ca și cum ar fi placată cu un strat de widia.

Dintre reperele la care au fost obținute rezultate bune prin borurare, efectuată la IFTAR sau la beneficiari, se menționează: plungere și sape de foraj (FTT nr. 694 Cod 750 OID-MICM), tarozi pentru ceramică (I.I.E.J.T. — Tg. Secuiesc), duze emailare (I.U.P.S. — Suceava), palete amestec de formare (Întreprinderea 23 August — București), roți de clinchet (I.M.U.A.S. — Baia Mare), bucșe pentru noroi (C.F.C.H. — Dej).

Scanned with OKEN Scanner

16

Prelucrarea metalelor și aliajelor prin așchiere în condiții criogenice

Conf. dr. ing. *Iosif Tăpălagă*
Șef lucrări dr. ing. *Horațiu Iancău*
Șef lucrări dr. ing. *Petre Berce*
Institutul Politehnic Cluj-Napoca

1. Evoluția prelucrării metalelor prin așchiere utilizînd medii criogenice

Este cunoscut faptul că o funcție de bază a mediilor de așchiere este cea de răcire, a sculei așchietoare, a suprafeței prelucrate și a materialului ce se înlătură sub formă de așchie. Pe de altă parte se știe că o dată cu creșterea vitezelor de lucru și implicit a temperaturilor dezvoltate, în special la prelucrarea materialelor cu o slabă prelucrabilitate, scade și eficacitatea acțiunii mediului de așchiere. Apare deci oportunitatea măririi eficacității mediului de așchiere utilizat.

Preocupări în legătură cu creșterea influenței mediului de așchiere asupra procesului de prelucrare, au existat încă din 1944. Astfel, Pahlitzsch a cercetat prelucrarea metalelor prin așchiere în condițiile utilizării unui mediu de așchiere și în condițiile răcirii forțate a acestui mediu, utilizînd o instalație specială de răcire, pînă la temperaturi de 273 K. În acest fel a stabilit experimental influențele tehnologice ale răcirii puternice a mediului de așchiere asupra materialului piesei, asupra materialului sculei și a durabilității acesteia. S-a constatat că numai prin răcirea mediului de așchiere obișnuit are loc o creștere a durabilității sculei cu 24 pînă la 100%, în funcție de condițiile prelucrării.

Ulterior s-a născut ideea de a răci scula sau piesa la temperaturi cu mult sub 273 K în scopul îmbunătățirii prelucrabilității prin așchiere a unor oțeluri bogat aliate cu crom, nichel, molibden, mangan, titan, wolfram. Acest lucru a dus la apariția așchierii în condiții criogenice, adică la utilizarea unui mediu de așchiere la temperaturi sub 120 K.

Studiul prelucrării în condiții criogenice a fost inițiat de către Bartle în 1953. În cercetările efectuate, Bartle a folosit bioxid de carbon ca lichid criogenic. Datorită rezultatelor foarte promițătoare obținute, procedeul a fost imediat preluat și îmbunătățit de societatea Carbon Dioxide Co., dîndu-i denumirea de proces „Ce—De—Cut". În 1957 Delaney a dezvoltat „Prelucrarea sub zero" la care era folosit un agent de răcire special.

Scanned with OKEN Scanner

Fenomenele ce însoțesc procesul de așchiere la temperaturi joase au fost studiate mai în detaliu începînd cu anul 1958, de către Kumabe și Masuko care au pus în evidență dispariția depunerilor pe tăiș și fragilizarea materialului la temperaturi joase.

Dezvoltarea industriilor aeronautice, aerospațiale și a celei termonucleare, au intensificat mult cercetările și prelucrările în domeniul așchierii metalelor la temperaturi joase, acestea atît datorită necesității prelucrării mecanice a unor aliaje și superaliaje cu o prelucrabilitate extrem de scăzută cît și a necesității studierii comportării în timp la temperaturi joase a acestor materiale. În acest sens, urmare a unei cooperări între US Air Force și societatea Convair Aircraft Corp., au avut loc cercetări asupra prelucrabilității prin strunjire, frezare și găurire a unor oțeluri austenitice inoxidabile și refractare. Ca agent de răcire s-au folosit vapori de bioxid de carbon, pentru temperaturi pînă la 193 K și ABCO-156 Solvolen pentru temperaturi pînă la 213 K.

Prelucrabilitatea multor materiale „exotice", cum ar fi zirconiul, hafniul, beriliul pur, Hastelloy și alte materiale greu prelucrabile a fost îmbunătățită prin prelucrarea la temperaturi criogenice. În acest sens, în 1964 John Rohlfs, președinte al firmei Connecticut Special Machine, declara: „Capacitatea criogeniei de a îmbunătăți prelucrabilitatea și rezistența la oboseală a materialelor este practic nelimitată".

În anul 1967, cercetătorul japonez Okoshi experimentează un nou mediu de răcire și anume azotul lichid. De la această dată, azotul lichid este folosit pe scară largă la prelucrările prin așchiere datorită temperaturilor joase pe care le realizează (77 K), datorită faptului că nu este toxic pentru operator și pentru că are un cost scăzut (la noi în țară circa 2 lei litrul).

În anul 1975, cercetătorul sovietic în domeniul așchierii metalelor, Filonenko, aplică procedeul așchierii criogenice la strunjirea unei game mari de oțeluri printre care cele carbon, inoxidabile, refractare etc., constatînd că procedeul este avantajos dar necesită în continuare studii mai aprofundate privind influența mediului criogenic asupra fenomenelor ce însoțesc procesul de așchiere.

În ultimii ani, în cadrul catedrei TCM a Institutului Politehnic Cluj-Napoca, în colaborare cu Universitatea din Cluj, procedeul așchierii criogenice este utilizat din ce în ce mai mult, cercetările axîndu-se pe fenomenele cauzate de răcirea piesei sau și a sculei și influențele acestor fenomene asupra performanțelor procesului de așchiere. S-a studiat așchierea criogenică sub aspectul formării așchiei, a rugozității suprafeței prelucrate, a forțelor de așchiere și a durabilității sculelor. Concluziile desprinse pînă acum arată că fenomenele ce intervin sînt multiple și complexe și că eficacitatea procedeului depinde în mare măsură de cunoașterea acestor fenomene.

Colectivul nostru a experimentat și obținut rezultate în prelucrarea prin strunjire și găurire, urmînd ca acest procedeu să fie extins la tarodare, frezare în perioada următoare.

În paralel s-au dezvoltat și tehnologii de asamblare criogenice, prelucrări prin presare (ambutisare, extrudare etc.).

Scanned with OKEN Scanner

S-a conceput și realizat o instalație universală pentru prelucrări criogenice care se poate adapta ușor la diferite procedee sau utilaje în vederea aplicării acestei tehnologii.

Utilizarea tot mai frecventă în industrie a materialelor greu prelucrabile prin așchiere, cum sînt oțelurile bogat aliate cu crom, nichel, titan, wolfram, aliajele de aluminiu, titan, zirconiu, magneziu, precum și cuprul, hafniul și beriliul de înaltă puritate, impune găsirea unor procedee și modalități care să conducă la îmbunătățirea condițiilor de așchiere și la mărirea eficienței procesului de prelucrare.

Unul din aceste procedee constă în mărirea influenței efective a mediului de așchiere asupra procesului de prelucrare, prin așchierea în condiții criogenice. Prin condiții criogenice se înțelege răcirea sculei așchietoare și uneori a piesei la temperaturi sub 120 K.

În aceeași măsură în care tratamentul termic s-a impus ca procedeu fundamental pentru ameliorarea caracteristicilor mecanice ale materialelor pieselor, tot așa capătă o extindere din ce în ce mai mare răcirea sub 273 K a sculelor așchietoare, mijloc prin care se realizează condiții sensibil ameliorate de prelucrare și prelungire a vieții sculelor.

Au fost efectuate cercetări privind comportarea materialelor metalice și nemetalice la temperaturi criogenice, bazate pe studiul fenomenelor ce apar la prelucrările prin așchiere și deformare plastică, la temperaturi sub 120 K.

Întrucît în cercetarea fenomenelor ce apar în prelucrarea materialelor la temperaturi criogenice și în introducerea tehnologiilor de prelucrare, sînt necesare investigații privind comportarea materialelor la aceste temperaturi, s-a dezvoltat în paralel proiectarea și execuția unor echipamente tehnologice pentru determinarea caracteristicilor mecanice ale materialelor la temperaturi scăzute.

2. Comportarea materialelor la temperaturi scăzute

În condițiile temperaturilor scăzute, adică sub 120 K, atît proprietățile fizice cît și caracteristicile mecanice ale materialului de prelucrat prin așchiere, și cele ale sculei suferă o serie de modificări. Astfel se apreciază că la majoritatea materialelor metalice se produce o creștere a caracteristicilor de duritate și rezistență precum și o reducere a plasticității. În cazul oțelurilor inoxidabile austenitice, deformarea în condiții criogenice duce la transformarea austenitei reziduale în martensită, ceea ce are ca efect o ameliorare a caracteristicilor funcționale ale pieselor prin creșterea rezistenței la oboseală.

Problema studierii comportării materialelor la temperaturi scăzute este pe cît de importantă pe atît de complexă. Caracteristicile de rezistență sînt decise de aranjamentul atomilor în rețeaua cristalină, iar dacă materialul a suferit o deformare plastică, rezistența lui depinde de felul în care dislocațiile apar, se transmit și se interacționează. Deformațiile plastice depind de modul în care planele atomice în rețeaua cristalină se deplasează unul față de altul. În acest context dislocațiile joacă un rol foarte important, scăderea temperaturii duce la o restrîngere a vibrații-

Scanned with OKEN Scanner

lor atomilor din rețea, lucru ce împiedică mișcarea dislocațiilor în material. Chiar mai mult, scăderea temperaturii afectează tenacitatea, gîtuirea și alungirea specifică, ducînd în general la fragilitate și scăderea plasticității, însă sînt și materiale care își păstrează o bună tenacitate și la temperaturi scăzute.

Factorul care influențează cel mai mult asupra variației caracteristicilor mecanice, o dată cu scăderea temperaturii, este forma rețelei cristaline. Astfel metalele cu rețeaua cubică cu fețe centrate (CFC) cum sînt Cu, Ni și Al, păstrează o înaltă plasticitate și la temperaturi joase, în timp ce metalele cu rețea cubică cu volum central (CVC) și cele cu rețea hexagonală, prezintă fragilitate pronunțată. Oțelurile carbon prezintă o descreștere a tenacității chiar într-un interval îngust de temperatură, pe cînd unele oțeluri inoxidabile austenitice rămîn ductile și la temperaturi scăzute.

O dată cu variația proprietăților mecanice și termofizice se modifică și proprietățile electrice și magnetice. După cum se cunoaște starea de supraconductibilitate electrică a unor metale și aliaje caracterizată prin reducerea bruscă și practic dispariția rezistenței electrice și reducerea bruscă a coeficientului de conductibilitate termică se face simțită la temperaturi foarte scăzute, specifice. Temperatura de apariție a stării de supraconductibilitate electrică a fost denumită „temperatură critică" Tc.

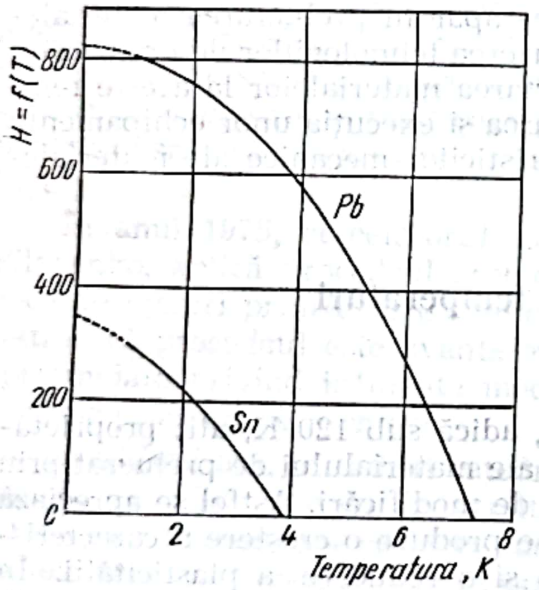


Fig. 16.1. Influența unui cîmp magnetic asupra temperaturii de transformare a metalului.

Este o temperatură limită a stării normale la care, în absența unui cîmp magnetic exterior apare saltul la valoarea teoretic infinită a conductivității electrice. Temperatura critică limită *Tc* poate fi însă schimbată cu ajutorul unui cîmp magnetic exterior *Hc* (exterior „critic") în care se plasează metalul. Temperatura T de transformare a stării metalului, normal supraconductor, devine cu atît mai mică cu cît cîmpul magnetic exterior H este mai puternic.

În fig. 16.1 se prezintă spre exemplificare funcția $H=f(T)$ pentru plumb și staniu.

Determinarea caracteristicilor mecanice ale materialelor în condiții criogenice. Autorii au participat la un vast program de cercetări și experimentări privind determinarea caracteristicilor mecanice ale diferitelor materiale constructive la temperaturi criogenice. Tema face parte din programul național de criogenie al CNST, program coordonat de ICPE București.

Materialele testate au fost supuse încercărilor de tracțiune și reziliență la diferite temperaturi.

Încercarea la tracțiune se efectuează la presa universală tip INSTRON 1196, într-un dispozitiv special numit criostat ce a permis cu ajutorul azotului lichid obținerea temperaturilor necesare. În fig. 16.2, se

prezintă una din variantele constructive ale criostatelor utilizate la încercări experimentale.

Criostatul este conceput pentru a răspunde cerințelor impuse de încercarea unor game largi de materiale și eventual adaptarea lui la alte încercări sau cercetări la frig adînc. În proiectare s-a avut în vedere și

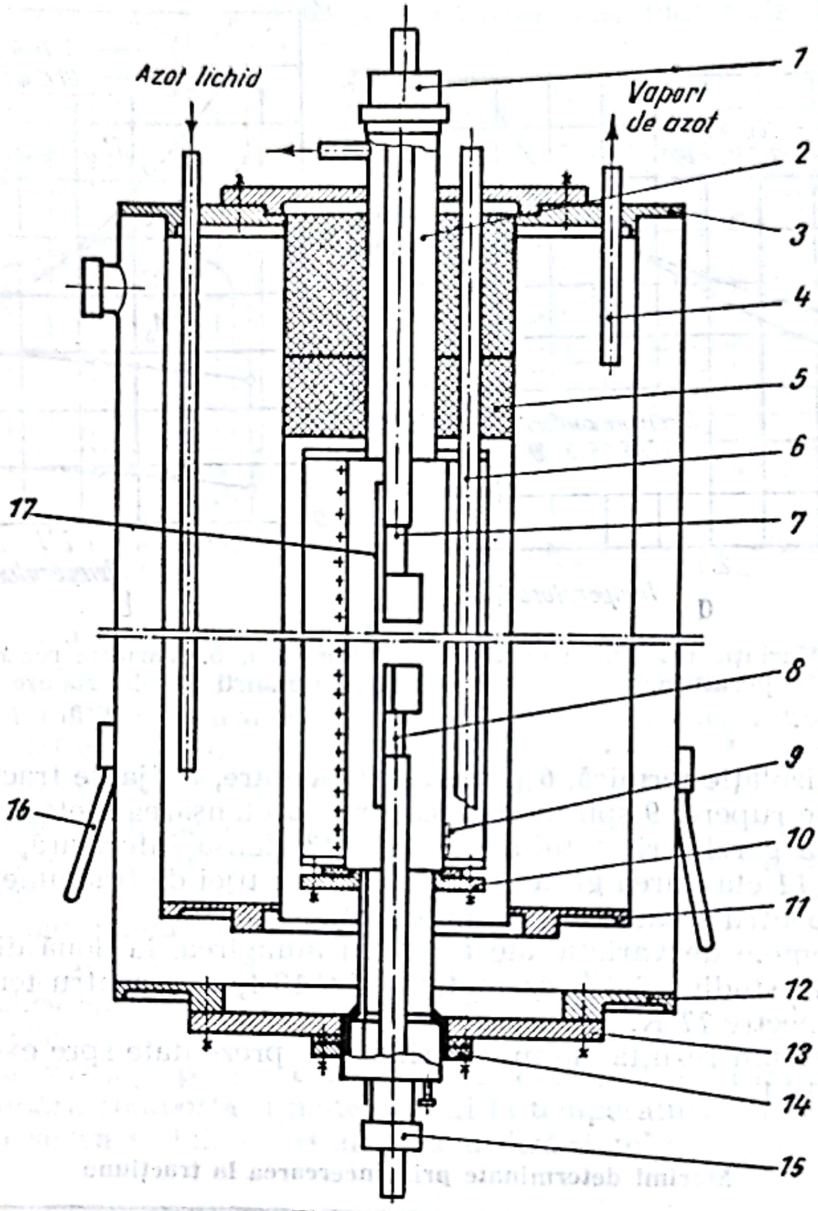


Fig. 16.2. Criostat.

varianta ca acest criostat să lucreze atît cu heliu cît și cu azot iar cu anumite adaptări se poate lucra într-un mediu variabil de temperatură. Construcția este de tip modul. Partea exterioară *3* a criostatului constituie garda de azot lichid și izolarea termică cu vid. Izolarea termică cu vid este comună atît părții exterioare cît și incintei interioare. Incinta exterioară *2* este detașabilă de partea exterioară, adică de modulul cu azot lichid, prin flanșa superioară și etanșarea inferioară *14*.

Datorită construcției, incinta interioară poate fi înlocuită cu alta destinată altor scopuri.

Scanned with OKEN Scanner

Acest criostat permite răcirea epruvetelor prin vapori reci de azot lichid sau alt agent de răcire.

Părțile componente ale criostatului sînt: *1* etanșarea tijei de tracțiune, *2* incinta interioară, *3* incinta exterioară, *4* tubul de evacuare a vaporilor

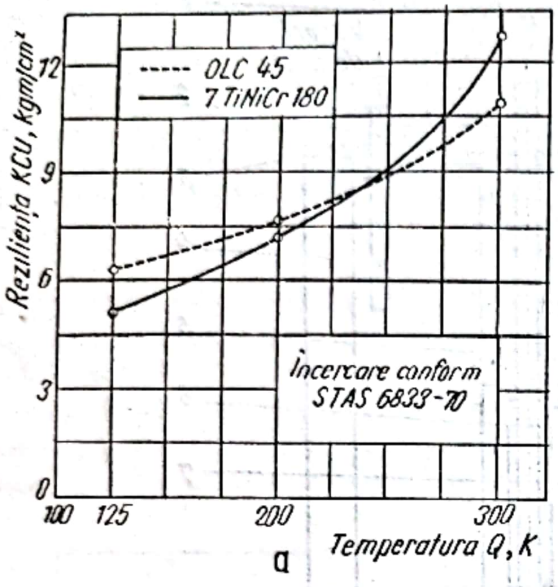


Fig. 16.3, *a*. Variația rezilientei cu temperatura.

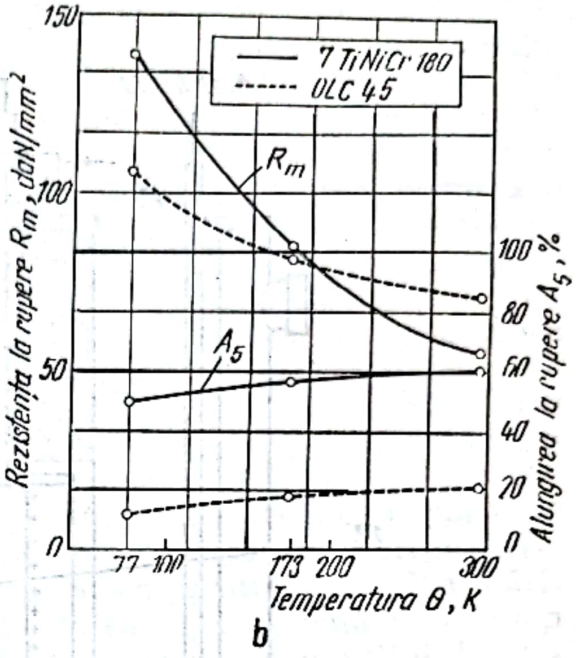


Fig. 16.3, *b*. Variația rezistenței Rm și a alungirii As la rupere cu temperatura.

de azot, *5* izolație termică, *6* tubul de alimentare, *7* tija de tracțiune *8* dispozitivul de rupere, *9* spirala de încălzire, *10* etanșarea metalică, *11* flanșa interioară a gărzii criostatului, de azot, *12* flanșa inferioară, *13* corp intermediar, *14* etanșarea glisantă, *15* etanșarea tijei de tracțiune, *16* suport, *17* sistem pentru scoaterea tijei din criostat.

Diagramele de variație ale forței cu alungirea, la două din materialele luate în studiu, sînt prezentate în fig. 16.4, 16.5 pentru temperaturile de 293, respectiv 77 K.

O parte din rezultatele încercărilor sînt prezentate spre exemplificare în tabelul 16.1.

Tabelul 16.1

Mărimi determinate prin încercarea la tracțiune

Materialul	Rezistența la rupere R_m (daN/mm²)			Alungirea la rupere A_5 %		
	Temperatura			Temperatura		
	293 K	173 K	77 K	293 K	173 K	77 K
OLC 45	70,77	82	106,16	21,54	15,2	11,08
7 TiNiCr 180	56,62	85,8	138	60	56,9	53,8
W 1.4828	58,39	86,5	138,71	61,54	51,8	27,38

Scanned with OKEN Scanner

Cu ajutorul rezultatelor experimentale se pot trasa diagramele de variație ale rezistenței la rupere R_m și a alungirii la rupere A_5, cu temperatura, reprezentate în fig. 16.3, *b*.

Față de temperatura camerei, la 77 K rezistența la rupere crește de 2,5 ori pentru 7 TiNiCr 180 respectiv de 1,5 ori pentru OLC 45. În aceleași condiții, alungirea la rupere scade pentru ambele materiale. Desigur că

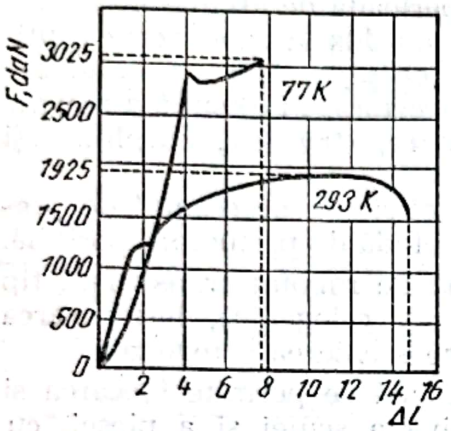


Fig. 16.4. Variația forței cu alungirea pentru OLC 45.

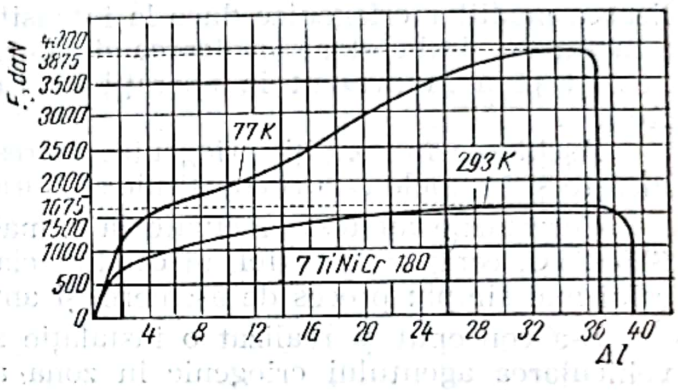


Fig. 16.5. Variația forței cu alungirea pentru 7 TiNiC$_2$ 180.

în procesul de deformare sau așchiere în condiții criogenice, mărirea rezistenței materialului este mai redusă, corespunzătoare temperaturii create.

Această mărire a caracteristicilor de rezistență este favorabilă procesului de deformare în cazul ambutisării adînci știind că în anumite situații este necesară mărirea rezistenței semifabricatului.

Pentru a evidenția modificarea tenacității oțelurilor la temperaturi scăzute, în fig. 16.3, *a* se prezintă diagramele de variație ale rezilienței în funcție de temperatură. După cum se observă reziliența ambelor oțeluri scade accentuat o dată cu scăderea temperaturii.

Din cercetările efectuate a rezultat că nu toate materialele metalice sau nemetalice își schimbă în aceeași proporție proprietățile tehnologice și caracteristicile mecanice. Există materiale la care influența răcirii este nesemnificativă, fapt pentru care se recomandă în toate cazurile efectuarea determinării comportării materialului la temperaturi scăzute, și numai după aceea se va stabili oportunitatea utilizării tehnologiilor criogenice.

3. Influența temperaturii criogenice asupra fenomenelor ce însoțesc procesul de așchiere

Creșterea durabilității sculei, la așchierea criogenică, se explică atît datorită micșorării solicitării mecanice, ca urmare a diminuării deformațiilor plastice ale materialului așchiat, cît și datorită micșorării considerabile a încărcării termice a sculei așchietoare.

Scanned with OKEN Scanner

Astfel, nu apar, sau se diminuează semnificativ unele forme de uzură specifice temperaturilor ridicate cum sînt uzura prin difuziune, oxidare și adeziune.

Răcirea materialului semifabricatului mărește uneori fragilitatea acestuia, iar calitatea suprafețelor prelucrate crește, ca rezultat al micșorării deformațiilor plastice ce însoțesc procesul formării așchiilor, eliminării depunerilor pe tăiș, cît și datorită menținerii exacte a parametrilor geometrici ai sculelor așchietoare, într-o lungă perioadă de așchiere.

Rezultatele acestei metode de prelucrare au dus la concluzia că utilizarea mediilor criogenice duce la intensificarea proceselor de prelucrare a metalelor și aliajelor și ridicarea eficienței acestora. Procesul s-a experimentat pînă în prezent la operații de rabotare, strunjire, burghiere și frezare.

Așchierea în condiții criogenice mărește eficiența procesului de prelucrare și în unele cazuri constituie singura metodă de prelucrare posibilă.

Cercetările au fost efectuate la o mașină de rabotat transversal tip SH-425 C, comparînd astfel, în condiții clasice și criogenice, desfășurarea celui mai simplu proces de așchiere, și anume așchierea ortogonală.

S-a conceput și realizat o instalație specială ce permite stocarea și vehicularea agentului criogenic în zona activă a sculei și a piesei, cu pierderi cît mai mici. Scula utilizată aici a fost un cuțit de rabotat încovoiat, cu o plăcuță din oțel rapid fixată mecanic, corpul cuțitului avînd o construcție specială ce a permis răcirea plăcuței așchietoare prin vaporizarea azotului lichid.

Piesa a fost fixată pe masa mașinii într-un dispozitiv special ce permite întreruperea instantanee a procesului de așchiere, dînd astfel posibilitatea studierii și cercetării procesului formării așchiilor în cele două condiții tehnologice distincte, clasice și criogenice.

Experimentele efectuate au avut drept scop evidențierea influenței condițiilor criogenice asupra cîtorva fenomene ce însoțesc procesul de așchiere, avîndu-se în vedere posibilitățile de reducere a energiei de deformare și de ridicare a eficienței procesului de prelucrare.

Influența temperaturilor scăzute asupra coeficientului de contracție al așchiei. Caracteristica principală a așchierii în condiții criogenice, în cazul în care se răcește și materialul piesei de prelucrat, constă în trecerea particulelor de material din starea tenace în stare fragilă și ca urmare, a diminuării deformațiilor plastice ce însoțesc procesul de prelucrare. Astfel, s-a determinat mărimea coeficientului de contracție k_e al așchiei în scopul evidențierii mărimii deformațiilor plastice din zona de așchiere.

Pentru experimentări s-a utilizat o epruvetă specială cu lățimea de 3 mm, lungimea așchiei nedetașate l_1=30 mm, iar lungimea l_2 a așchiei spiralate a fost măsurată cu ajutorul unui curbimetru, după ce imaginea așchiei a fost mărită de 50 ori la proiectorul de profile tip MP 320.

Ca și variabile independente s-au stabilit temperatura epruvetei (piesei de prelucrat) θ, unghiul de degajare γ, viteza de așchiere v și grosimea de așchiere a.

Domeniile de variație ale variabilelor independente s-au luat 173—293 K pentru temperatura epruvetei θ, 8°—16° pentru unghiul de degajare γ, 2,5—15 m/min pentru viteza de așchiere v și 0,02—0,14 mm pen-

Scanned with OKEN Scanner

tru grosimea de așchiere a. În final pentru 3 nivele a rezultat un număr de $3^4=81$ experimente, conform tabelului 16.2, unde se prezintă o parte din datele experimentale.

Tabelul 16.2

Valorile coeficientului de contracție k_e

θ [K]	γ [grd]	v [m/min]	a [mm]	k_e	
				7 TiNiCr 180	OLC 45
293	8	2,5	0,02	4,76	3,33
293	8	2,5	0,08	4,28	3,16
293	8	2,5	0,14	3,75	3,00
173	16	15	0,02	1,90	1,87
173	16	15	0,08	1,79	1,77
173	16	15	0,14	1,70	1,67

Modelul matematic al coeficientului de contracție poate fi exprimat printr-o funcție putere multiplă de forma:

$$k_e=a_0\theta^{a1}\gamma^{a2}v^{a3}a^{a4},$$

unde a_0 este o constantă ce depinde de condițiile de așchiere; a_i — coeficienți; θ, γ, v, a — variabile independente.

Utilizînd programul de regresie liniară multiplă, în urma rulărilor efectuate la calculatorul INDEPENDENT-100, s-au obținut coeficienții regresiei pentru cele două materiale, modelele matematice rezultînd de forma:

$$k_{e\,OLC45}=10^{-0,33097}\cdot\theta^{0,43080}\cdot\gamma^{-0,34127}\cdot v^{-0,06779}\cdot a^{-0,06917};$$

$$k_{e\,7TiNiCr180}=10^{-1,46904}\cdot\theta^{0,91692}\cdot\gamma^{-0,30101}\cdot v^{-0,06967}\cdot a^{-0,08782}.$$

Analizînd aceste relații se relevă faptul că micșorarea temperaturii piesei duce la scăderea coeficientului de contracție, scădere mai pronunțată la OLC 54, material ce se fragilizează mai intens. Acest lucru confirmă ipoteza micșorării deformațiilor plastice la așchierea în condiții criogenice, ceea ce duce în final la reducerea energiei consumate în procesul de prelucrare.

În fig. 16.6, *a* este redată grafic dependența coeficientului k_e față de temperatură și viteza de așchiere, pentru OLC 45, iar în fig. 16.6, *b* se prezintă imaginea unei așchii obținute în condiții criogenice pentru același material.

Scanned with OKEN Scanner

Se remarcă aspectul fragil al aşchiei, ca urmare a deformaţiilor plastice reduse.

În concluzie, la materialele moi (R_m sub 60 DaN/mm²) în condiţiile în care se răceşte şi piesa, se pot lua, la sculele aşchietoare, valori mai mici la unghiul de degajare, mărind astfel şi pe această cale durabilitatea acestora.

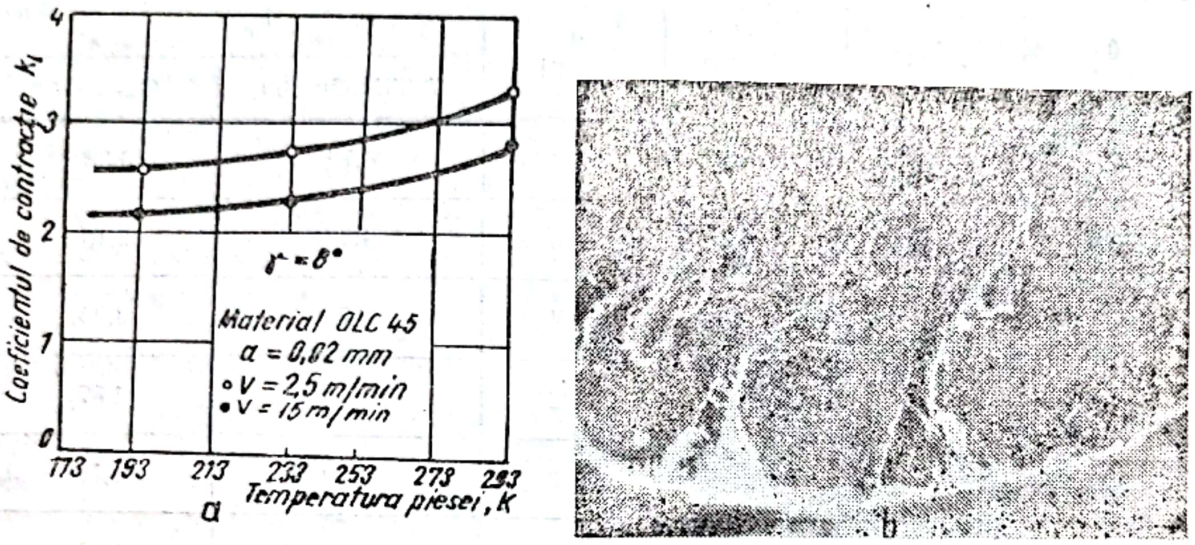


Fig.16.6. *a* — variaţia coeficientului de contracţie în funcţie de temperatură; *b* — imaginea unei aşchii obţinute în condiţii criogenice: material OLC 45, a=0,08 mm, v=2,5 m/min, γ=8°, α=1°, mărire 200 *X*.

Influenţa temperaturilor scăzute asupra rugozităţii suprafeţei prelucrate. În general microgeometria suprafeţelor prelucrate s-a îmbunătăţit la ambele oţeluri testate, însă nu în egală măsură. Astfel la OLC 45 răcind piesa la 173 K, rugozitatea nu s-a îmbunătăţit, datorită fragilizării puternice a materialului, însă la răcire în jur de 223 K calitatea suprafeţei a crescut datorită diminuării depunerii pe tăiş, în condiţiile unei fragilizări mai reduse.

La oţelul austenitic 7 TiNiCr 180 aşchierea în condiţii criogenice a dus la îmbunătăţiri evidente ale microgeometriei suprafeţelor prelucrate. Este cunoscut faptul că oţelurile inoxidabile austenitice au o prelucrabilitate prin aşchiere scăzută, avînd o conductibilitate termică redusă, ecruisare mare şi un coeficient mare de frecare al aşchiei pe faţa de degajare a sculei. În urma experimentelor efectuate la rabotarea ortogonală, s-a constatat în toată gama de viteze de 1—30 m/min, prezenţa fenomenului de depunere pe tăiş, precum şi o tendinţă de microsudură a unui rest de aşchie în zona tăişului, care nu cade după ieşirea sculei din material şi care va produce în continuare la o nouă trecere, o înrăutăţire evidentă a suprafeţei aşchiate, formînd aşa-zisă „gripare de prelucrare".

Aceste microsuduri, care la aşchierea în condiţii criogenice nu se produc, duc şi la o scădere pronunţată a durabilităţii sculei aşchietoare, deoarece la îndepărtare antrenează şi o parte din materialul sculei. În condiţii clasice, pentru reducerea frecărilor la faţa de degajare se recomandă adaosurile de sulf în astfel de oţeluri, însă această soluţie duce la diminuarea proprietăţilor anticorozive şi refractare.

Scanned with OKEN Scanner

În cadrul experimentului efectuat, urmînd metodologia și programul regresiei liniare multiple, s-a obținut modelul matematic al rugozității suprafeței așchiate, de forma:

$$R_a = 10^{-7,94712} \cdot \theta^{3,43579} \cdot v^{0,30103} \cdot a^{0,21535}$$

valabil pentru domeniile variabilelor independente, 173—293 K pentru temperatura piesei, 2,5—10 m/min pentru viteza de așchiere și 0,02—0,1 mm pentru grosimi de așchiere. Se menționează faptul că în timpul așchierii și scula a fost răcită în jur de 200 K. Analizînd expresia matematică a rugozității, se remarcă influența puternică a temperaturii piesei asupra mărimii R_a.

Rezultatele experimentale se redau și în fig. 16.7, ce reprezintă variația lui R_a în funcție de temperatură și grosimea de așchiere a.

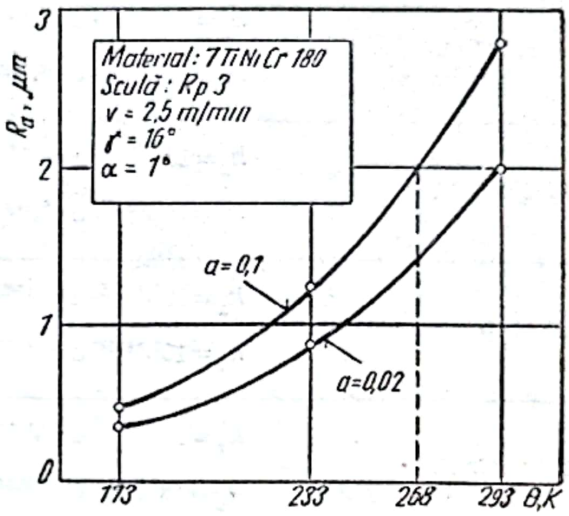


Fig. 16.7. Variația rugozității în funcție de temperatura piesei.

Se evidențiază faptul că odată cu scăderea temperaturii piesei, influența grosimii de așchiere asupra mărimii rugozității suprafeței așchiate, se micșorează.

Acest fenomen are o deosebită importanță în procesul de broșare al alezajelor precum și la broșarea plană. Astfel la așchierea în condiții criogenice se poate obține aceeași valoare a rugozității, însă cu supraînălțări mai mari ale dinților broșei, ceea ce duce la scurtarea sculei de broșat și implicit la ridicarea eficienței procesului de prelucrare.

Influența temperaturilor scăzute asupra forțelor specifice de așchiere. Pentru a evidenția influența mediului criogenic asupra mărimii energiei consumate în procesul de așchiere, s-au determinat în cele două cazuri tehnologice, mărimile forțelor specifice de așchiere k_z și k_y, adică forțele corespunzătoare unității de suprafață a așchiei nedetașate (1 mm²). Forțele specifice reprezintă mărimile ce caracterizează cel mai real fenomenele ce au loc la ridicarea așchiilor în prelucrarea metalelor.

S-au considerat mărimile de influență cele mai importante și anume, materialul de prelucrat și grosimea așchiei a. S-a folosit metoda experimentală, determinînd prin regresie liniară multiplă o funcție putere multiplă de forma:

$$k_z = a_{0z} a^{a_{1z}} \quad k_y = a_{0y} a^{a_{1y}}$$

Pentru măsurarea componentelor forței de așchiere s-a utilizat un dinamometru rezistiv cu element elastic tip bară. Modelele matematice obținute pentru materialele studiate, sînt trecute în tabelul 16.3.

În figura 16.8 se prezintă variația componentei k_z a forței specifice în funcție de grosimea de așchiere și de temperatură.

Se remarcă la ambele oțeluri micșorarea lui k_z la așchierea criogenică față de cea clasică, micșorare mai accentuată în domeniul așchiilor

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 16.3

Modele matematice ale componentelor forței specifice

Materialul	Modelul matematic	Unitatea de măsură	Observații
OLC 45	$k_z = 10^{3,27186} \cdot a^{-0,23169}$ $k_y = 10^{2,5177} \cdot a^{-0,44171}$	N/mm² N/mm²	Cu emulsie
7TiNiCr 180	$k_z = 10^{3,54233} \cdot a^{-0,15398}$ $k_y = 10^{2,89353} \cdot a^{-0,34971}$	N/mm² N/mm²	Cu emulsie
OLC 45	$k_z = 10^{3,24548} \cdot a^{-0,17635}$ $k_y = 10^{2,34254} \cdot a^{-0,45152}$	N/mm² N/mm²	Cu azot lichid
7TiNiCr 180	$k_z = 10^{3,52976} \cdot a^{-0,11537}$ $k_y = 10^{2,23035} \cdot a^{-0,68444}$	N/mm² N/mm²	Cu azot lichid

În fig. 16.8 se prezintă variația componentei k_z a forței specifice în funcție de grosimea de așchiere și de temperatură.

subțiri, acolo unde deformațiile plastice sînt mai accentuate, în cazul așchierii cu emulsie. Deci din acest punct de vedere așchierea criogenică este recomandabilă, îmbunătățind prelucrabilitatea.

Influența temperaturilor scăzute asupra unghiului de forfecare Φ. Unghiul de forfecare ∅ din procesul formării așchiilor, este considerat în anumite cazuri drept un indicator al prelucrabilității prin așchiere, datorită influenței sensibile asupra mărimii forțelor de așchiere și asupra rugozității suprafeței generate.

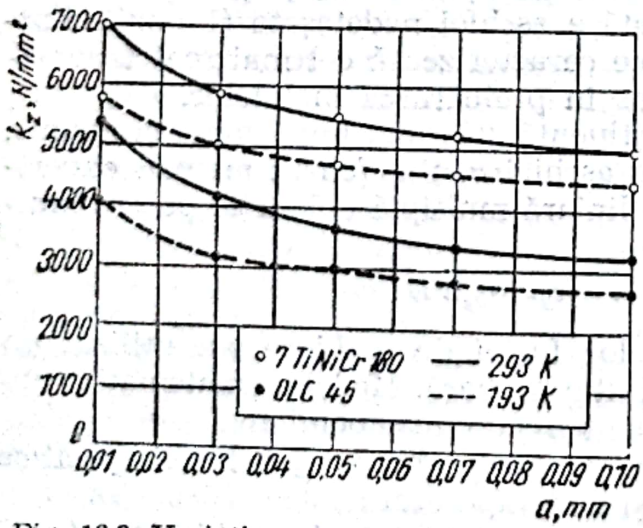


Fig. 16.8. Variația componentei k_z a forței specifice.

Pentru determinarea unghiului de forfecare s-a folosit metoda experimentală, utilizînd în acest scop un dispozitiv special de întrerupere instantanee a procesului de așchiere la rabotare.

În fig. 16.9 se prezintă, comparativ, microfotografiile așchiilor întrerupte în cele două cazuri tehnologice — cu emulsie, respectiv răcire cu azot lichid, la așchierea oțelului 7TiNiCr180.

La așchia obținută în condiții criogenice se evidențiază o mărire

Scanned with OKEN Scanner

substanțială a unghiului de forfecare Φ, de la 9° la 19°, ceea ce duce și la o micșorare a suprafeței planului de forfecare.

În același timp se constată și o micșorare a coeficientului de îngroșare al așchiei, precum și o omogenizare a mărimii grăunților de austenită. Aceste fenomene duc în final la reducerea consumului energetic de prelu-

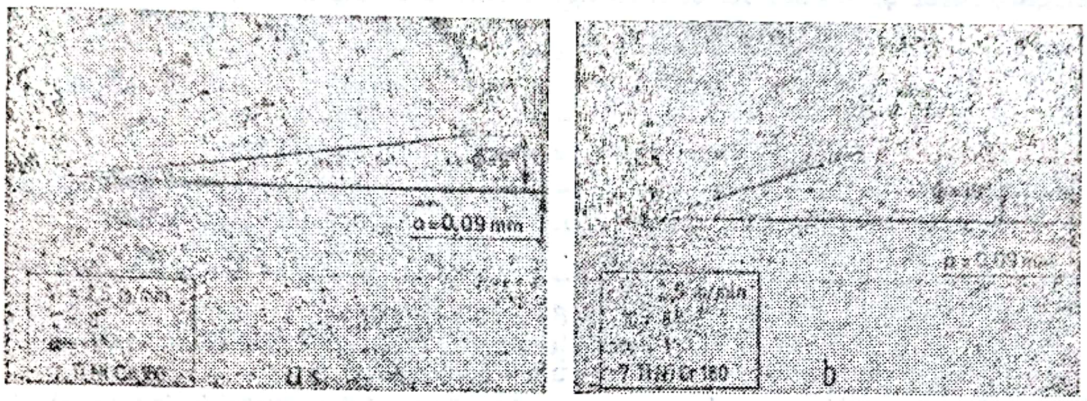


Fig. 16.9. Influența mediului de așchiere asupra unghiului de forfecare Φ. *a* — cu emulsie; *b* — cu azot lichid (100 X).

crare, la un același regim de așchiere și cu aceeași parametrii geometrici ai sculei.

Influența temperaturilor scăzute asupra durabilității sculei așchietoare. Pentru a evidenția influența mediului criogenic asupra durabilității sculei așchietoare, s-a stabilit drept criteriu de uzare, atingerea unei fațete de uzură de 0,2 mm pe fața de așezare.

Așchierea a avut loc în condiții obișnuite, utilizînd emulsie, precum și în condițiile răcirii sculei în jurul temperaturii de 193 K. Piesa de asemenea a fost răcită cu azot lichid prin cea de-a doua ramificație a circuitului instalației experimentale. Fațeta de uzură a fost măsurată la un microscop universal de scule.

Rezultatele obținute în aceste condiții au stat la baza întocmirii curbelor de variație prezentate în fig. 16.10.

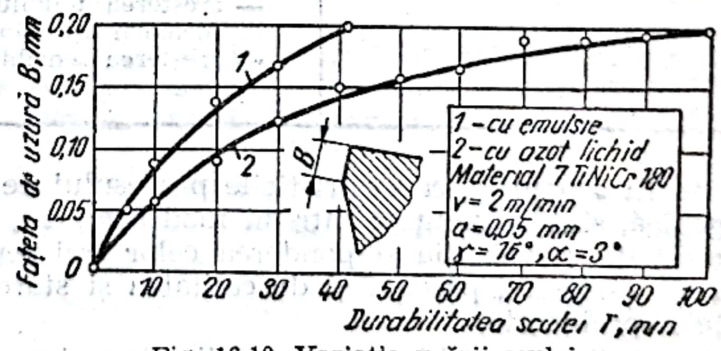


Fig. 16.10. Variația uzării sculei.

La așchierea criogenică a rezultat un spor de durabilitate de 150%, în condițiile atingerii unei fațete de uzură de 0,2 mm. Micșorarea intensității uzurii se explică prin reducerea încărcării termice a zonei active a sculei, precum și prin diminuarea unor forme de uzare specifice temperaturilor ridicate, cum sînt uzarea prin difuziune, oxidare și adeziune. În același timp, procesul de răcire intensă a sculelor din oțel rapid, duce la o transformare a unei părți din austenita reziduală în martensită, mărind astfel rezistența la uzare a tăișului așchietor.

Scanned with OKEN Scanner

4. Concluzii

În urma acestor experimente efectuate în condiţiile celor două medii diferite de aşchiere, se evidenţiază trei fenomene principale cauzate de răcirea sculei şi piesei la temperaturi scăzute, cu influenţe diferite asupra caracteristicilor procesului de aşchiere, aşa cum reiese din tabelul 16.4.

Tabelul 16.4

Fenomenele cauzate de răcire şi influenţele lor

Fenomene cauzate de răcire	Influenţele asupra caracteristicilor procesului de aşchiere
1. Ceşterea tensiunii de forfecare a materialului prelucrat (la majoritatea materialelor	— Forţa de aşchiere creşte; — Microduritatea stratului superficial aşchiat creşte la oţelurile austenitice
2. Creşte intensitatea fragilizării la majoritatea materialelor	— Deformaţiile plastice ce însoţesc procesul de aşchiere se micşorează; — forţa de aşchiere scade sau creşte în funcţie de gradul de fragilizare; — micşorează coeficientul de frecare pe faţa de degajare; — împiedică apariţia depunerilor pe tăiş
3. Schimbarea caracterului frecării pe faţa de degajare şi în zona tăişului sculei	— Micşorarea coeficientului de frecare pe faţa de degajare, ceea ce determină: — micşorarea forţei de frecare; — micşorarea coeficientului de contracţie al aşchiei; — scăderea intensităţii depunerii pe tăiş la oţelurile la care în mod normal apare; — creşterea unghiului de forfecare din procesul formării aşchiilor; — creşterea sensibilă a durabilităţii sculei aşchietoare

În concluzie, caracteristicile procesului de aşchiere la aşchierea criogenică, sînt influenţate într-un mod complex, rezultatul depinzînd foarte mult de combinaţia şi ponderea celor trei fenomene fundamentale cauzate de răcire, precum şi de calitatea şi starea de tratament a materialelor prelucrate.

Aplicarea aşchierii în condiţii criogenice este eficientă la viteze mici, dar mai ales la viteze mari de aşchiere, azotului lichid revenindu-i rolul nu numai de a elimina energia din zona de aşchiere, ci şi de a diminua producerea acesteia.

În vederea utilizării mai complexe a avantajelor ce ni le oferă tehnica criogenică, este imperios necesară o continuare a cercetărilor şi experimentărilor în domeniul construcţiilor de maşini, mărind astfel calitatea, fiabilitatea şi eficienţa produselor noastre industriale.

Scanned with OKEN Scanner

BIBLIOGRAFIE

1. BERCE, P., IANCĂU, H. şi TĂPĂLAGĂ, I. *Cercetări privind optimizarea geometriei constructive a cuţitelor de strung la aşchierea în condiţii criogenice.* A IX-a Sesiune de comunicări ştiinţifice, 6—7 iunie, 1986.
2. BERCE, P., IANCĂU, H. şi TĂPĂLAGĂ, I. *Cercetări şi rezultate experimentale asupra optimizării sculelor la aşchierea criogenică.* Comunicările celei de a V-a Conferinţă de procese şi utilaje de prelucrare la rece. Vol. III, 20—21 noiembrie Timişoara, 1986.
3. IANCĂU, H. ş.a. *Consideraţiuni asupra aşchierii metalelor la temperaturi joase şi foarte joase.* Comunicarea la cea de a IV-a Conferinţă de procese şi utilaje de prelucrare la rece, Vol. I., Timişoara, 20—21 noiembrie, 1981.
4. IANCĂU, H. ş.a. *Consideraţii asupra deformaţiei stratului de material aşchiat în condiţii de răcire adîncă.* Comunicare la Colocviul: Maşini şi tehnologii de prelucrare la rece cu înaltă productivitate, Cluj-Napoca, 26—27 noiembrie, 1982. Buletinul ştiinţific, I.P.C.-N., Nr. 23.
5. IANCĂU, H., CHEREBETIU, T. şi TĂPĂLAGĂ, I. *Metode de măsurare a temperaturii piesei şi sculei la aşchierea prin răcire adîncă.* Colectivul de Maşini şi tehnologii de prelucrare la rece. Cluj-Napoca, 26—27 noiembrie 1982. Buletinul ştiinţific, I.P.C.-N., Nr. 23.
6. IANCĂU, H. ş.a. *Contribuţii la stabilirea unor noi metode pentru mărirea durabilităţii sculelor aşchietoare.* Conferinţa a VI-a republicană, proiectarea, tehnologia şi exploatarea sculelor aşchietoare, Vol. I., Braşov 18—19 decembrie, 1981.
7. IANCĂU, H. *Contribuţii la îmbunătăţirea procesului de broşare al alezajelor şi studierea comportării materialului la prelucrare.* Teză de doctorat, Institutul Politehnic Cluj-Napoca, Cluj-Napoca, 1983.
8. IANCĂU, H. ş.a. *Tehnologia încercării prin şoc a materialelor răcite la temperaturi criogenice.* Al III-lea Colocviu naţional de crioelectrotehnică, Vol. I., Craiova, 1983.
9. IANCĂU, H., PETRICEANU, GH. şi TĂPĂLAGĂ, I. *Cercetări privind posibilităţile de extindere a prelucrărilor metalelor în condiţii criogenice.* A IV-a Conferinţă naţională de tehnologii neconvenţionale, Vol. I., Timişoara, 3—5 noiembrie, 1983.
10. IANCĂU, H., BERCE, P., TĂPĂLAGĂ, I. *Contribuţii privind influenţa mediului criogenic asupra forţelor şi temperaturii la aşchiere.* A VII-a Sesiune de comunicări ştiinţifice, Vol. I., 1984.
11. IAKOBS, G., ş.a. *Optimizacija rezanija.* Moskva, Masinastrolnijo. U.R.S.S., nr. 9., 1979.
12. MONAHAN, F. A. Sub — Zero Machining. In: American Machinist, May, nr. 16., 1960.
13. OKOSHI, M. *Read at the General Meeting of the Japan Soc. of Precision Eng.* April, 1967.
14. PETRICEANU, GH., IANCĂU, H. *Consideraţii asupra comportării materialului la aşchierea în condiţii criogenice,* Sesiunea de comunicări ştiinţifice, Vol. I., 1983, Aiud.

Scanned with OKEN Scanner

15. PETRICEANU, GH., IANCĂU, H. *Considerații asupra problemelor specifice aşchierii în condiții criogenice.* Sesiunea de comunicări științifice, Vol. I., Aiud. 1982.

16. TĂPĂLAGĂ, I. *Studii și cercetări asupra proceselor de criopresare* a IV.-a Conferință de procese și utilaje de prelucrare la rece, Timișoara, 20—21 noiembrie, 1981.

17. TĂPĂLAGĂ, I., ș.a. *Contribuții privind dezvoltarea procesului de ambutisare cu răcirea poansonului,* Timișoara, 20—21 noiembrie, 1981.

18. TĂPĂLAGĂ, I., ș.a. *Contribuții privind tehnologia presării în condiții criogenice,* Sesiunea de comunicări științifice a Institutului de Învățământ Superior, Sibiu, 24.V.1980.

19. TĂPĂLAGĂ, I., BLAGA, R., CHEREBETIU, T., ACHIMAS, GH., IANCĂU, H. *Cercetări privind determinarea vitezei optime la ambutisarea cu răcirea poansonului.* Colocviul „Mașini și tehnologii de prelucrare la rece cu înaltă productivitate I.P.C.-N., 26—27 noiembrie, 1982.

20. TĂPĂLAGĂ, I., IANCĂU, H. *Contribuții privind determinarea unor particularități în tehnologiile de criopresare.* A IV-a Conferință Națională de tehnologii neconvenționale, Timișoara, 3—5.XI.1983.

21. WIGLEY, D. A. *Mechanical properties of materials law temperatures New* York, 1971.

Scanned with OKEN Scanner

TM CM

VI

INGINERIA CALITĂȚII. FIABILITATE

Scanned with OKEN Scanner

17

Fiabilitatea funcţională a transmisiilor prin lanţuri

Dr. ing. *Andrei Tudor*
Ing. *Filip Ilie*
Institutul Politehnic Bucureşti

1. Introducere

Transmisiile prin lanţuri sînt utilizate, după cum se cunoaşte, în multe domenii: motoare şi mijloace de transport, maşini pentru construcţii, maşini agricole, maşini-unelte, maşini textile, maşini pentru prelucrarea lemnului, maşini tipografice etc. Scoaterea din funcţiune a lanţurilor are la bază, fie ruperea unora dintre elementele componente (de regulă eclisele interioare sau exterioare), fie alungirea lanţului, ca urmare a uzării sau a distrugerii rolelor.

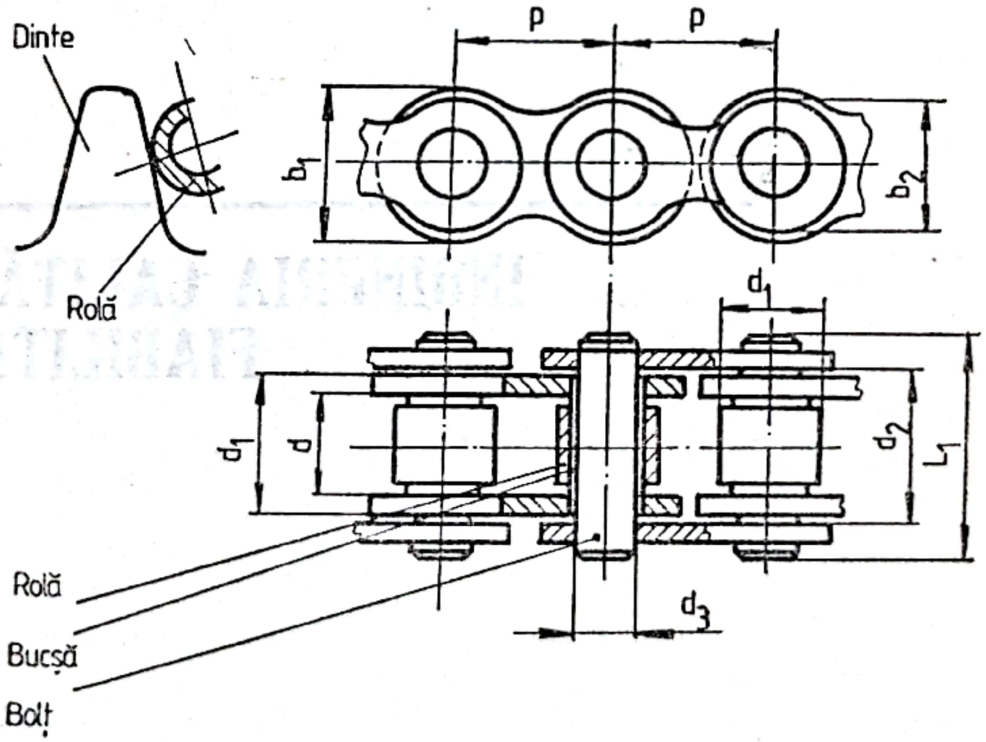


Fig. 17.1. Cuplele de frecare ale lanţurilor articulate cu role (bolţ-bucşă; bucşă-rolă; rolă-roată de lanţ).

Din cercetările statistice a rezultat că cca 60% din toate defectele lanțurilor apar ca urmare a unor defecțiuni de ungere [1] — lubrifiantul nu a putut asigura o peliculă continuă în zonele de contact.

Modul de transmitere a fluxului de forță în transmisiile cu lanțuri permite considerarea lanțului ca element principal, de care depinde buna funcționare a transmisiei.

La orice lanț se disting mai multe cuple de frecare. Astfel, pentru lanțurile articulate cu role (fig. 17.1) se disting cuplele bolț-bucșă, bucșă-rolă, rolă-roată de lanț.

În cele ce urmează se va analiza corelația dintre fiabilitatea și durabilitatea lanțurilor articulate cu role în ipoteza apariției în timpul funcționării a unor parametri aleatori (momentul de torsiune la roata condusă, viteza unghiulară, particule abrazive).

2. Viteza de uzare a lanțurilor

Pe baza cinematicii transmisiilor cu lanțuri articulate cu role se poate determina lungimea drumului de frecare în corelație cu elementele geometrice ale lanțului (pasul p, lungimea L_1, viteza v_1). În timp ce o articulație a lanțului parcurge un traseu complet (de la intrarea inițială pe roata conducătoare pînă la intrarea următoare pe aceeași roată), se disting următoarele lungimi de frecare:

— pentru cupla rolă — contactul exterior cu dinții celor două roți,

— pentru cupla rolă — contactul interior cu bolțul,

$$L_{0\,fr\,ext}=\pi\cdot p/2; \tag{1}$$

$L_{0\,fr\,int}=0{,}5\varphi_0 d_3$, φ_0 fiind unghiul hertzian de contact (fig. 17.2) și care se determină pe baza sarcinii normale preluate și a caracteristicilor geometrice și de material,

$$\varphi_0=0{,}32[(8{,}3c_0+1)2F/(2F+a_1E_2J]^a, \tag{2}$$

unde: $c_0=(\pi/2)(1-\mu^2)$; $a=0{,}51+0{,}27\,\mu$; μ — coeficientul lui Poisson; F — sarcina preluată din lanț; a_1 — lungimea de contact a bolțului cu bucșa (lățimea bucșei); E_2 — modulul de elasticitate al materialului bucșei; J — jocul dintre bolț și bucșă; d_3 — diametrul bolțului;

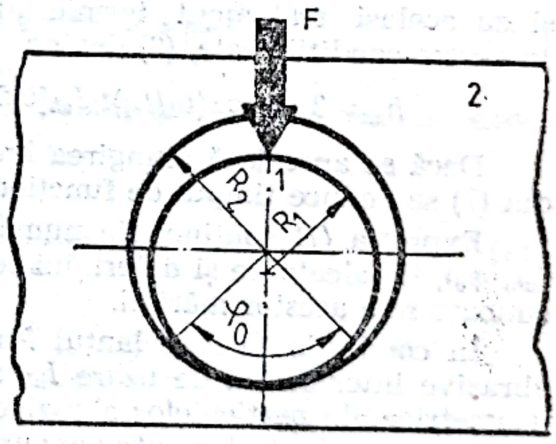


Fig. 17.2. Unghiul hertzian de contact φ_0 pentru cupla de frecare roată-bolț: *1* — bolț; *2* — rolă.

— pentru bolț,

$$L_{0\,fb}=\pi\cdot d_3. \tag{3}$$

La cîte o rotație completă a roților, lanțul alunecă sub sarcină, pe cîte un dinte, cu lungimea

$$L_{0f1}=p\beta_1/4;\ L_{0f2}=p\beta_2/4, \tag{4}$$

$\beta_{1,2}$ fiind unghiurile de înfășurare ale roții *1*, respectiv *2*.

Scanned with OKEN Scanner

Prezența mișcării relative și transmiterea forțelor prin cuplele de frecare fac posibilă apariția particulelor de uzură. Aceste particule sînt fie de tip adeziv, atunci cînd funcționarea și condițiile de etanșare nu permit pătrunderea particulelor abrazive, iar lubrifiantul nu poate separa complet elementele în contact, fie de tip abraziv. Pe baza legităților generale ale procesului de uzare, se definește intensitatea liniară, adimensională, de uzare $I_{uh}=\mathrm{d}h/\mathrm{d}L_f$, în care h este grosimea stratului uzat ca urmare a lungimii de frecare L_f [2, 3]. Indicatorul I_{uh} este dependent de material, de microgeometria suprafețelor și de presiunea reală de contact p_r. Pentru o cuplă de frecare dată, intensitatea de uzare de tip adeziv are următoarea dependență:

$$I_{uh}=kp_r^m, \tag{5}$$

constantele k și m depinzînd, așa cum s-a precizat, de caracteristicile mecanice ale materialului și de microgeometria suprafețelor (pentru lanțuri corect rodate și executate $m\approx 1$).

Cu aceste precizări, se poate calcula alungirea lanțului ca urmare a procesului de uzare, h_{uz}, în mm, pentru un timp de funcționare t_h, în ore:

$$h_{uz}=v_u t_h, \tag{6}$$

unde v_u este viteza de uzare a lanțului dată de expresia

$$v_u=1800(v_1/L_1)[pI_{uhr\ ext}+(\varphi_0/\pi)d_3 I_{uhr\ int}+2d_3 L_{uhr\ b})], \quad [\mathrm{mm/h}], \tag{6'}$$

în care v_1 se va introduce în mm/s, L_1 în mm, p în mm, φ_0 în rad, d_3 în mm.

Deoarece materialele bolțului, bucșei și rolei sînt, de regulă, aceleași și cu același tratament termic al suprafeței, $I_{uhr\ ext}=I_{uhr\ int}=I_{uhr\ b}=I_{uh}$. În aceste condiții reale, (6) devine

$$h_{uz}=3\,600\pi p(v_1/L_1)t_h I_{uh}[0{,}5+0{,}5\varphi_0 d_3/(\pi p)+d_3/p]=v_u t_h. \tag{7}$$

Dacă se apreciază alungirea limită a lanțului $h_{uz}=\Delta p=0{,}03\ p$, atunci din (7) se deduce timpul de funcționare t_h.

Expresia (7) conține, fie numai variabile deterministe (p, v_1, L_1, d_3, I_{uh}, φ_0), fie aleatoare și deterministe, în funcție de modul de variație și de cunoaștere a acestor mărimi.

În condițiile în care lanțul funcționează într-un mediu cu particule abrazive intensitatea de uzare I_{uh} depinde de caracteristicile mecanice și geometrice ale particulelor abrazive și caracteristicile mecanice ale materialelor celor două elemente ale cuplei de frecare [2, 4]:

$$I_{uh1}=6{,}8(A/M_1)K_1; \qquad I_{uh2}=6{,}8(A/M_2)K_2, \tag{8}$$

unde: A este factorul abrazivului; $M_{1(2)}$ — factorul de material; $K_{1(2)}$ — factorul cinematic.

Se explicitează expresiile acestor factori pentru cuplele de frecare specifice unui lanț articulat cu role.

Factorul abrazivului A are expresia

$$A=\varepsilon_a^{2/3}\, r_a^{0,5}\, \sigma_a^{2,5}, \tag{9}$$

Scanned with OKEN Scanner

în care: ε_a este concentrația procentuală a abrazivului în lubrifiant sau în mediul de funcționare a lanțului; r_a — raza de curbură medie a particulelor abrazive; σ_a — rezistența de rupere a particulelor.

Factorul materialelor elementelor cuplei.

$$M_1=\varepsilon_{01}^t \cdot HB_1^{1,5} \cdot HB_2; \qquad M_2=\varepsilon_{02}^t \cdot HB_1 \cdot HB_2^{1,5}, \tag{10}$$

în care: ε_{01}, ε_{02} sînt deformațiile relative la rupere ale celor două materiale separate de particula abrazivă; t — exponent caracteristic materialului (pentru OLC 45, $t=7{,}90$; $\varepsilon_0=9{,}5\%$; pentru OLC 55, $t=10\ldots11$; $\varepsilon_0=0{,}095$; pentru fontă, $t=4{,}15$); HB_1, HB_2 — durităților suprafețelor celor două elemente ale cuplei.

Pentru cuplele de frecare specifice lanțului (rolă-dinte, bucșă-bolț) se poate aproxima $HB_1=HB_2=HB$. În cazul în care, durităților flancurilor roților, rolei la interior și exterior și bolțului sînt diferite, atunci factorul de material al dintelui, al rolei la exterior, al bucșei la interior și al bolțului se determină cu relația (10).

Factorul cinematic K:

a. Pentru cupla de frecare rolă-dintele roții *1* sau *2*:

— pentru rolă,

$$K_{r1,\,2}=2\sqrt{\rho_{R1,\,2}}/(\pi\alpha p), \tag{11}$$

unde raza de curbură redusă a rolei și flancului dintelui roții

$$\rho_{R1,\,2}=d_1 R_{2med1,\,2}/(d_1+2R_{2med1,\,2}), \tag{12}$$

în care d_1 este diametrul exterior al rolei (se ia din standard sau din catalog), iar raza medie a flancului dintelui roții *1* sau *2*

$$R_{2med1,\,2}=4\cdot10^{-3}d_1(z_{1,\,2}+15\ z_{1,\,2}+215), \tag{13}$$

$z_{1,\,2}$ fiind numerele de dinți ai roții *1* sau *2*.

Coeficientul $\alpha=HB_r/(HB_r+HB_d)$, HB_r fiind duritatea suprafeței exterioare a rolei și HB_d — duritatea flancului;

— pentru roata de lanț *1* sau *2*:

$$K_{1,\,2}=4\sqrt{\rho_{R1,\,2}}/(\alpha p\beta_{1,\,2}), \tag{14}$$

$\beta_{1,\,2}$ fiind unghiurile de înfășurare în rad.

b. Pentru cupla de frecare bucșă-bolț:

— pentru bucșă la suprafața interioară,

$$K_{ri}=2\sqrt{\rho_R}/\alpha_b\varphi_0 d_i), \tag{15}$$

unde: d_i este diametrul interior al rolei (formează un ajustaj cu joc împreună cu bolțul de diametru d_3); φ_0 — unghiul mediu de contact relația (2); ρ_R — raza de curbură redusă, dată de relația

$$\rho_R=d_i d_3/[2(d_i-d_3)]; \quad \alpha_b=HB_b/(HB_b+HB_3).$$

HB_b fiind duritatea bucșei la interior iar HB_3 — duritatea bolțului.

— pentru bolț (suprafața exterioară),

$$K_b=\sqrt{\rho_R}/(\pi\alpha_b d_3). \tag{16}$$

Scanned with OKEN Scanner

Cunoscînd factorii A, M și K, se determină cu (8) intensitatea de uzare, iar apoi cu (6) viteza de uzare, pe baza căreia se determină grosimea stratului uzat într-un timp de funcționare t_h.

3. Grosimea filmului de lubrifiant

Luînd în considerare particularitățile geometrice și cinematice ale transmisiilor cu lanțuri, precum și ipotezele de calcul al grosimii filmului hidrodinamic sau elastohidrodinamic, în nici una dintre cuplele de frecare ale lanțului (bolț-bucșă, bucșă-rolă, rolă-roată de lanț) nu se poate determina valoarea grosimii filmului de lubrifiant. Se apreciază totuși că efectele de extrudere a filmului dintre bolț și bucșă este esențial în formarea unei pelicule portante. Această peliculă joacă, în special, rolul de amortizor al șocurilor în timpul intrării unei zale pe roțile de lanț.

Dacă se acceptă că în zona descărcată a lanțului, și anume în punctul cu săgeata maximă, cupla bolț-bucșă, caracterizată prin diametrul bolțului d_3, diametrul bucșei d_3' și lungimea a_1, are o grosime a filmului de lubrifiant h_0 ca urmare a umplerii interstițiului cu lubrifiant, atunci pe perioada de timp t cît elementele lanțului se găsesc solicitate de forța F, grosimea filmului h va scădea la valoarea

$$h/\Delta = 1 - t/\sqrt{k^2+t^2}, \tag{17}$$

unde $\Delta = (d_3' - d_3)/2$, iar $k = 3\pi\eta a_1 d_3^3/(2\Delta^2 F)$, η fiind viscozitatea dinamică a lubrifiantului la temperatura medie de funcționare.

Pe lungimea totală a lanțului, o cuplă de frecare, bolț-bucșă se poate găsi într-una dintre zonele: A_0—A_1; A_1—A_2; A_2—A_3; A_3—A_4; A_4—A_0 (fig. 17.3). Duratele intervalelor de timp corespunzătoare acestor zone sînt:

$$t_{01} = t_{40} = \sqrt{a^2+4f^2}/(2v_1); \qquad t_{12} = \beta_2/\omega_2; \tag{18}$$

$$t_{23} = a/(v_1 \cos\gamma); \qquad t_{34} = \beta_1/\omega_1,$$

unde: γ este unghiul dintre ramurile lanțului; ω_1, ω_2 sînt vitezele unghiulare ale celor două roți; a — distanța dintre axele roților; $f = f_r a\cos\gamma$ — săgeata ramurii conduse, f_r fiind săgeata relativă a ramurii inferioare (se recomandă următoarele valori: $f_r = 0{,}02a$ pentru transmisii cu unghiul de înclinare față de orizontală $\varphi \leqslant 45°$ și $f_r = (0{,}01 \ldots 0{,}015)a$ pentru transmisii cu $\varphi > 45°$); v_1 — viteza lanțului ($v_1 = pz_1\omega_1/(2\pi)$); $\beta_{1,2}$ — unghiurile de înfășurare poligonală a lanțului pe cele două roți ($\beta_1 = \pi - 2\gamma$, $\beta_2 = \pi + 2\gamma$, $\gamma = \arcsin[p/2a(1/\sin\pi/z_2 - 1/\sin\pi/z_1)]$; p — pasul lanțului; a — distanța dintre axele roților; $z_{1,2}$ — numerele de dinți ai roților.

În vederea determinării forței F din expresia lui k, se face o analiză a forțelor din ramurile lanțului, pentru a pune în evidență variația forței F. Din expresia (17) se observă că atunci cînd F crește grosimea filmului h scade.

Scanned with OKEN Scanner

Cercetările teoretice și experimentale ale forțelor din ramurile transmisiei cu lanț (conducătoare *1* și condusă *2*) pun în evidență, ca urmare a efectului poligonal și a șocului cauzat de ciocnirea dintre rolă, următoarele forțe (fig. 17.3):

$$F_1 = F_t + F_c + F_g + F_{d1} + F_{est};$$
$$F_2 = F_c + F_g + F_{d2}. \qquad (19)$$

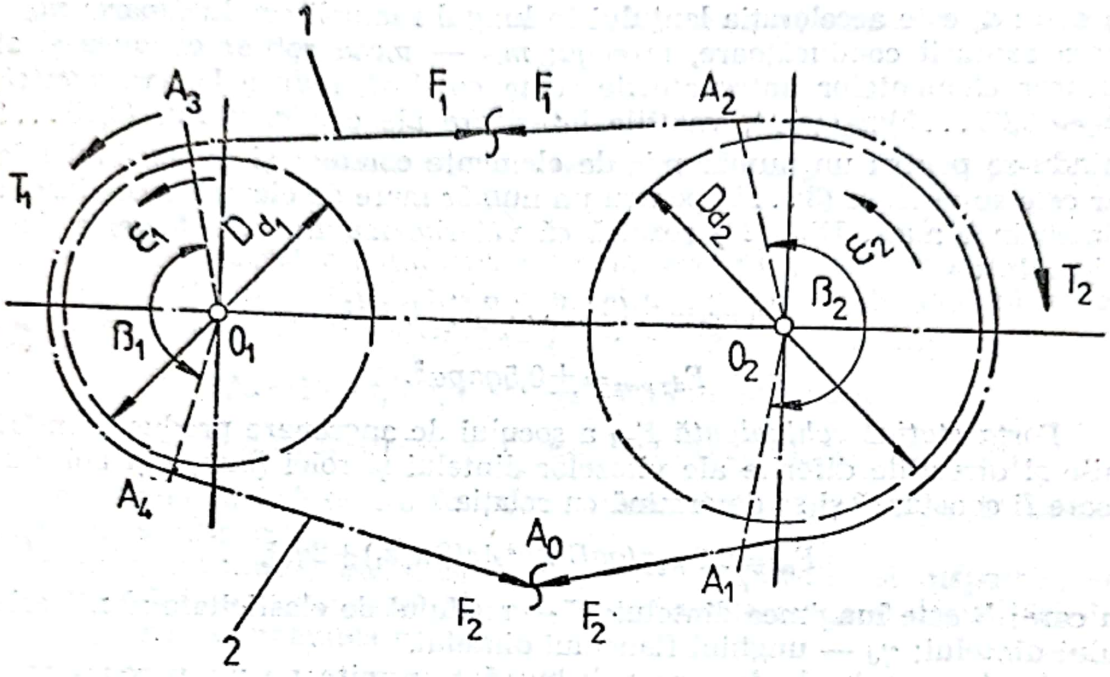


Fig. 17.3. Pozițiile ocupate de cupla de frecare bolț-bucșă pe lungimea totală a lanțului (A_0—A_1, A_1—A_2, A_2—A_3, A_3—A_4, A_4—A_0).

Forța tangențială F_t acționează numai în lungul ramurii conducătoare a lanțului și are mărime variabilă în timp ca urmare a efectului poligonal:

$$F_t = 2P_1 \sin(\pi/z_1)/\{p\omega_1 \cos[(\pi/z_1) - \omega_1 t_1]\} \qquad (20)$$

și

$$F_{t\,med} = 2\pi P_1/(pz_1\omega_1),$$

în care: P_1 este puterea transmisă de roata conducătoare a lanțului; t_1 — timpul avînd ca origine momentul de intrare a lanțului pe roată.

Forța de întindere a ramurilor lanțului F_c, dezvoltată de forțele centrifuge ale zalelor, poate fi considerată constantă:

$$F_c = qv_1^2, \qquad (21)$$

în care: q este masa lanțului pe unitatea de lungime (kg/1 m lanț).

Forța de întindere datorită greutății ramurilor transmisiei F_g este constantă și se calculează cu relația

$$F_g = qga^2/(8f), \qquad (22)$$

în care: $f = f_r \cos\gamma$ este săgeata ramurii conduse, iar f_r este săgeata relativă a ramurii inferioare și are recomandate următoarele valori: $f_r = 0{,}02a$

pentru transmisii cu unghiul de înclinare față de orizontală $\varphi \leqslant 45°$ și $f_r=(0{,}01 \ldots 0{,}015)a$ pentru transmisii cu $\varphi > 45°$.

Forțele dinamice F_d iau naștere ca urmare a efectului poligonal și variază în timp după legile [6]:

$$F_{d1}=a_1(m_L+m_{r2})=0{,}5p\omega_1^2\sin[(\pi/z_1)-\omega_1 t_1]\cdot(m_L+m_{r2})/\sin(\pi/z_1); \quad (23)$$

$$F_{d2}=a_1 m_L=0{,}5p\omega_1^2 m_L\sin[(\pi/z_1)-\omega_1 t_1]/\sin(\pi/z_1),$$

în care: a_1 este accelerația lanțului în lungul ramurii conducătoare; m_L — masa ramurii conducătoare, $m_L \approx qa$; m_{r2} — masa roților conduse și ale tuturor elementelor antrenate de roata condusă reduse la axa acesteia, $m_{r2} \approx (0{,}05 \ldots 5)m_L D_{d2}^2/4$, valorile inferioare ale coeficientului (0,05 ... 2) luîndu-se pentru un număr mic de elemente conduse și dimensiuni mici, iar cele superioare (3 ... 5) pentru un număr mare de elemente conduse și dimensiuni mari. Din (23) rezultă că valorile maxime ale forțelor dinamice sînt:

$$F_{d1\,max}=\pm(0{,}25 \ldots 2{,}5)qap\omega_1^2;$$

$$F_{d2\,max}=\pm 0{,}5qap\omega_1^2. \quad (24)$$

Forța statică echivalentă F_{esl} a șocului de angrenare produs de mărimile și direcțiile diferite ale vitezelor dintelui și rolei (bucșei și bolțului) poate fi constantă și se determină cu relația

$$F_{esl}=6{,}8\omega_1 p(qaBE)^{1/2}\sin[2\pi/z_1)+2\gamma_d], \quad (25)$$

în care: B este lungimea dintelui; E — modulul de elasticitate al materialului dintelui; γ_d — unghiul flancului dintelui.

Așadar, cupla de frecare bolț-bucșă transmite pe un parcurs complet (originea fiind considerată punctul A_0 din fig. 17.3) forțele:

$$F=\begin{cases} F_2, \text{ pentru } t\in(0, t_1)U(t_4, t_1); \\ F_2+(t-t_{01})(F_1-F_2)/(t_2-t_1), \text{ pentru } t\in(t_1, t_2); \\ F_1, \text{ pentru } t\in(t_2, t_3); \\ F_1-(t-t_3)(F_1-F_2)/(t_4-t_3), \text{ pentru } t\in(t_3, t_4), \end{cases} \quad (26)$$

în care: $t_t=L_1/v_1$ este durata (perioada) traseului complet al unei zale de lanț (L_1 — lungimea lanțului).

În (26) s-a considerat că forța din lanț are variația liniară pe zonele de contact ale lanțului cu roțile.

Dacă se ține seama de expresiile (26) și (17), atunci rezultă grosimea filmului în punctele A_1, A_2, A_3 (fig. 17.3). Condițiile funcționale nu permit mărirea grosimii filmului pe zona A_{3-4} chiar dacă forța scade, deoarece lubrifiantul expulzat nu poate reveni de la sine în zona de contact.

În condițiile în care momentul de torsiune de la mașina de lucru are o variație aleatoare, pelicula de film extrudat din cupla bolț-bucșă va avea grosimea dependentă de evoluția momentului de torsiune. Totodată trebuie menționat că străpungerea acestei pelicule este sigură în multe perioade de timp, ca urmare a existenței rugozităților pe suprafețele de contact. Caracterul aleator al variației înălțimii rugozității impune aprecierea stării

Scanned with OKEN Scanner

locale a contactului ca variabilă aleatoare, cu implicații asupra siguranței peliculei de lubrifiant.

Dacă se exprimă forța F din (26) în funcție de momentul de torsiune T, sub forma

$$F=c_1T+c_2, \tag{27}$$

în care $c_1=2\pi/(pz_2)$, $c_2=F_c+F_g+F_{dl}+F_{esl}$ și sînt constante pentru o transmisie dată. În acest caz caracteristicile statistice ale forței F, în funcție de caracteristicile statistice ale momentului T (media $\overline{T}$, dispersia D_T, coeficientul de variație c_{vT}) sînt:

— media $$\overline{F}=c_1\overline{T}+c_2, \tag{28}$$

— dispersia $$D_T=c_1^2\ D_T=c_1^2\ c_{vT}^2\ T^2=c_{vF}^2\ F^2, \tag{29}$$

cu $c_{vF}=c_1c_{v1T}/(c_1\overline{T}+c_2)$, coeficientul de variație al forței din lanț.

Implicațiile acestor parametri statistici asupra grosimii filmului, determinată cu expresia (17), se obțin aplicînd elementele de algebră a variabilelor aleatoare. Astfel, scriind (17) sub forma

$$h/\Delta=1-Ft/\sqrt{c_3^2+t^2F^2}=1-c_4F/\sqrt{c_3^2\omega_1^2+c_4^2F^2}, \tag{30}$$

cu $c_3=3\pi\eta a_1d_3^3/(2\Delta^2)$, $t=t_t=L_1/v_1=2\pi L_1/(pz_1\omega_1)$, $c_4=2\pi L_1/(pz_1)$

și, considerînd că h/Δ este o funcție continuă de variabile ω_1 și F, se deduc media și dispersia.

Pentru calculul caracteristicilor statistice (media și dispersia) se aproximează funcția continuă (30) cu primii doi termeni ai dezvoltării în seria Taylor în vecinătatea mediei:

$$\frac{h}{\Delta}\approx 1-\frac{c_4F}{\sqrt{c_3^2\overline{\omega}_1^2+c_4^2\overline{F}^2}}-\frac{c_4c_3^2\,\overline{\omega}_1\,(\overline{\omega}_1F-\overline{F}\omega_1)}{\sqrt{(c_3^2\overline{\omega}_1^2+c_4^2\,\overline{F}^2)^3}}. \tag{31}$$

Aplicînd calculul mediei pentru relația (31), rezultă

$$\overline{h}/\Delta=1-c_4\overline{F}/\sqrt{c_3^2\,\overline{\omega}_1^2+c_4^2\,\overline{F}^2}. \tag{32}$$

și aplicînd calculul dispersiei, se deduce

$$D_{h/\Delta}=c_4^2\,c_3^4\,\overline{\omega}_1^4\,\overline{F}^2\,(c_{vF}^2+c_{v\omega_1}^2)/(c_3^2\,\overline{\omega}_1^2+c_4^2\,\overline{F}^2)^3. \tag{33}$$

Parametrii statistici ai grosimii filmului de lubrifiant și ai rugozității permit calcularea siguranței peliculei, punînd în evidență fiabilitatea funcțională a lanțului din punctul de vedere al ungerii.

4. Fiabilitatea lanțurilor la rupere

Fiabilitatea transmisiilor cu lanțuri este influențată de elementele geometrice, de caracteristicile mecanice ale materialelor și de condițiile de exploatare (sarcină, viteză, ungere etc.) și de mediul de funcționare (regim termic, prezența particulelor abrazive etc.).

Scanned with OKEN Scanner

Așa cum s-a arătat, elementele componente ale lanțului (mai multe cuple de frecare ce funcționează în serie) transmit sarcini variabile, chiar dacă momentul de torsiune la arborele condus este constant. În timp ce elementele lanțului se găsesc pe ramura conducătoare sînt solicitate de forța tangențială F_t, forța de întindere ca urmare a efectelor centrifugale F_c și ca urmare a efectului poligonal F_d și forța statică echivalentă cauzată de șocul de angrenare F_{es1}. În timp ce elementele lanțului se găsesc pe ramura condusă, acestea sînt solicitate numai de forțele F_c, F_g și F_d.

Particularitățile cinematice ale transmisiei cu lanț demonstrează existența mișcării relative între elementele componente ale lanțurilor, fapt care conduce, implicit, la asigurarea unor condiții de uzare adezivă sau abrazivă, mai ales atunci cînd pelicula de lubrifiant nu permite transmiterea integrală a forței.

Contactul hertzian liniar dintre rolă și roata de lanț conduce la oboseala superficială atît a suprafețelor rolelor lanțurilor cît și a flancurilor roților de lanț.

În standardele de stat, în normele interne de întreprindere sau în cataloagele de produse ale producătorilor de lanțuri din țară sau străinătate sînt prevăzute sarcinile de rupere ale lanțurilor. De semnalat că aceste sarcini se referă la solicitarea statică, astfel că pentru calculul durabilității și fiabilității trebuie luate în considerare modificările ce apar ca urmare a oboselii.

Tensiunile variabile din eclisele lanțului apar ca urmare a variației forțelor de la intrarea pe roata conducătoare pînă la intrarea ulterioară. Se reamintește că în zona ramurii conducătoare acționează forța F_1 și în zona ramurii conduse forța F_2, relația (19).

Sarcina de rupere a lanțului nou este determinată experimental și are la bază o transmisie de referință. De exemplu, pentru lanțurile cu role și zale scurte STAS 5174-66, transmisia de referință se caracterizează prin următoarele date constructive și funcționale: $z_{01}=19$ dinți; raportul de transmitere $u_0=3$; distanța dintre axe $a_0=40p$ (p este pasul); numărul de zale $x_0=100$; doi arbori; durata medie de lucru $t_{h0}=10\,000$ ore, la o creștere relativă a pasului mediu al lanțului cu 4%, funcționarea la sarcină normală; ungere optimă; exploatare fără șocuri.

Prin prelucrarea datelor experimentale privind puterile indicate în diagrama din STAS 5174-66, în corelație cu elementele geometrice (pasul p, aria articulației A_a), se deduce că sarcina portantă maximă a ecliselor S_r variază cu numărul ciclurilor de solicitare N_c pentru durata de referință ($t_{h0}=10\,000$ ore), după o curbă Wöhler:

$$S_r^m N_c = \text{const.} \tag{34}$$

Această lege este valabilă pînă la o valoare limită a numărului de cicluri (N_{ce} dependent de tipodimensiunea lanțului). Se indică în tabelul 17.1 valorile acestui număr, precum și coeficienții de dependență c și k ai puterii limite transmise P_1 [kW] de turația roții conducătoare n_1 [rot/min] ($P_1=kn_1^c$). Valorile exponentului m, specific curbei Wöhler, variază pentru toate lanțurile indicate în tabelul 17.1 între 12,2 și 12,9; se apreciază că se poate accepta pentru calculele de durabilitate a acestor lanțuri valoarea $m=12{,}5$.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 17.1

Numărul limită de cicluri N_{cl} și caracteristicile curbei Wöhler pentru eclisele lanțurilor standardizate (STAS 5174-66)

Simbolul lanțului	Sarcina de rupere S_{rl} N	Pasul p mm	Aria articulației A_a mm²	Coeficienții puterii limită c	Coeficienții puterii limită lc	Numărul limită de cicluri N_{cl} cicluri	Turația limită a roții mici n_1 rot/min
08 A	$1{,}4 \cdot 10^5$	12,7	44,27		0,0083	$2{,}98 \cdot 10^8$	1 500
10 A	$2{,}2 \cdot 10^5$	15,8	70,31		0,017	$2{,}41 \cdot 10^8$	1 250
12 A	$3{,}2 \cdot 10^5$	19,0	105,44		0,029	$2{,}22^8 \cdot 10^8$	1 150
16 A	$6{,}0 \cdot 10^5$	25,4	179,07		0,067	$1{,}54 \cdot 10^8$	800
20 A	$8{,}9 \cdot 10^5$	31,7	269,69	0,92	0,123	$1{,}21 \cdot 10^8$	630
24 A	$12{,}7 \cdot 10^5$	38,1	393,61		0,213	$1{,}06 \cdot 10^8$	550
28 A	$17{,}2 \cdot 10^5$	44,4	472,31		0,320	$0{,}88 \cdot 10^8$	460
32 A	$22{,}7 \cdot 10^5$	50,8	645,15		0,465	$0{,}88 \cdot 10^8$	460
40 A	$35{,}4 \cdot 10^5$	63,5	1089,02		0,858	$0{,}57 \cdot 10^8$	300
48 A	$51{,}5 \cdot 10^5$	76,2	1614,12		1,455	$0{,}32 \cdot 10^8$	170

Considerînd că sarcina minimă de rupere a lanțului indicată în standare sau cataloage S_{r1} este determinată astfel încît ruperea să aibă loc pentru un singur ciclu de solicitare și că valorile sarcinii de rupere sînt distribuite după o lege normală (media S_{r1}, abaterea medie pătratică τ_{Sr1} sau coeficientul de variație $c_{v\,Sr}$), se poate scrie

$$\overline{S}_{r1} = S_{r1} + 3\sigma_{Sr1} \tag{35}$$

sau

$$\overline{S}_{r1} \approx S_{r1}/(1 - 3c_{v\,Sr}).$$

Cu aceste precizări, capacitatea portantă la tracțiune a eclisele lanțului se poate scrie sub forma

$$S_r = S_{r1}/N_c^{1/m} = S_{r1}/(t_h v_1/L_1)^{1/m} = [\pi L_1/(1800\, p z_1 t_h \omega_1)]^{1/m}\, S_{r1}, \tag{36}$$

în care: L_1 este lungimea lanțului, în mm; z_1 — numărul de dinți ai roții conducătoare; t_h — durata de funcționare, în h; p — pasul lanțului, în mm; ω_1 — viteza unghiulară ($\omega_1 = \pi n_1/30$ rad/s, cu turația n_1 în rot/min).

Caracteristicile statistice ale acestei capacități, pentru timpul de funcționare t_h, considerînd ca variabile aleatoare viteza unghiulară ω_1 (transmisie mecanică acționată de un motor cu turație variabilă pentru antrenarea unei mașini de lucru cu viteze variabile) și sarcina de rupere a lanțului pentru un singur ciclu de solicitare S_{r1}, sînt următoarele:

— media, $\overline{S}_r = [\pi L_1/(1800\, p z_1 t_h \overline{\omega}_1)]^{1/m}\, \overline{S}_{r1}$; (37)

— dispersia, $D_{Sr} = \overline{S}_r^2\,(m^2 c_{v\omega}^2 + c_{vSr}^2)$. (38)

Parametrul statistic de siguranță la tracțiune a eclisele se definește prin relația

$$a_l = (\overline{S}_r - \overline{F})/(D_{Sr} + D_F)^{1/2}. \tag{39}$$

Scanned with OKEN Scanner

Funcția de fiabilitatea lanțului la rupere R_r se calculează atunci cînd se cunoaște densitatea de probabilitate a ruperii ecliselor f_{zt}:

$$R_r=1-\int_0^{a_t} f_{zt}(t)dt. \tag{40}$$

Aproximarea densității reale de probabilitate a ruperii ecliselor cu o densitate teoretică permite calculul fiabilității pentru un anumit parametru statistic a_t dependent de timp.

În cazul unei repartiții normale, funcție de fiabilitate va avea expresia:

$$R_r=\Phi(a_t)=\gamma_r/100, \tag{41}$$

γ_r fiind fiabilitatea procentuală la rupere a ecliselor iar Φ este funcția Laplace.

Din (39) și (40) sau (41) se poate calcula fiabilitatea după un timp de funcționare t_h sau timpul de funcționare pentru o anumită fiabilitate.

În cazul repartiției Weibull, legătura dintre funcția de fiabilitate R_r și parametrul statistic a_t este de forma

$$a_t=\gamma+k/\theta \ln \ln (1/R), \tag{42}$$

în care: γ este parametrul de localizare; θ — parametrul de scară; k — parametrul de formă al repartiției.

5. Fiabilitatea funcțională din punctul de vedere al uzării

Prezența mișcării relative între diferitele cuple de frecare și transmiterea fluxului de forță conduc inevitabil la procese de uzare. Se apreciază că din punct de vedere funcțional un rol determinant îl deține cupla bolț-bucșă, cuplă care se poate uza prin adeziune și prin abraziune.

Intensitățile de uzare ale bucșei la interior în contact cu bolțul rolei la exterior în contact cu roțile de lanț și bolțului pot fi efecte ale uzării prin adeziune sau/și prin abraziune.

Pentru un anumit material, intensitatea de uzare adezivă este dependentă de presiunea nominală p_n de contact astfel că pentru rolă bucșă și bolț

$$I_{uhr\ e}=k_e p_{ne}^{m_e};\ I_{uhr\ i}=k_i p_{ni}^{m_i};\ I_{uhr\ b}=k_b q_{nb}^{m_b}.$$

Constantele k_i, k_e, k_b sînt funcție de microgeometria și proprietățile mecanice ale suprafețelor iar m_i, m_e, m_b sînt dependente de material (pentru suprafețe din oțel corect rodate, $m_i=m_e=m_b=1$). Presiunile nominale de contact se pot considera ca fiind presiunile Striebeck medii pentru contactul bolț-bucșă ($p_{ni}=p_{nb}=F/A_a$, F — forța ce acționează articulația (relația (27), A_a — aria diametrală a articulației) și presiunea hertziană pentru contactul rolă-dinte ($p_{ne}=0{,}418\sqrt{FE_r/(\rho_{R1,2}B_1}$, E_r — modulul de elasticitate redus al materialelor rolei și roții, $\rho_{R1,2}$ — raza de curbură redusă (relația (12), B_1 — lățimea de contact a dintelui cu rola).

Scanned with OKEN Scanner

Atunci cînd există particule abrazive în imediata apropiere a transmisiei cu lanț, intensitățile de uzare depind de elementele geometrice ale bucșei, rolei, flancului și de caracteristicile geometrice și de material ale particulelor.

Cu aceste precizări, viteza de uzare adezivă sau abrazivă (6) poate fi considerată ca funcție continuă de următoarele variabile aleatoare: forța din lanț, viteza lanțului atunci cînd mașina de lucru necesită viteze variabile și elementele geometrice și caracteristicile mecanice ale abrazivului.

Aproximînd funcția vitezei de uzare cu primii doi termeni ai dezvoltării în serie Taylor în jurul valorii medii, se deduc caracteristicile statistice ale vitezei de uzare. Astfel:

Media vitezei de uzare de tip adeziv

$$\overline{v}_{u\,ad}=1800(pz_1/L_1)\overline{\omega}_1/(pI_{uhr\,e})+(\varphi_0/\pi)d_3I_{uhr\,i}+$$
$$+2d_3I_{uhr\,b})=c\overline{\omega}_1(c_1\overline{F}^{m_e/2}+c_2\overline{F}^{m_i}+c_3\overline{F}^{m_b}), \quad (43)$$

unde: $c=1800\,pz_1/L_1$; $c_1=0{,}418\,pk_e[E_r/(\rho_{R1,2}B_1)]^{m_e/2}$;

$c_2=d_3\varphi_0k_i/(\pi A_a^{m_i})$; $c_3=d_3 2k_b/A^{m_b}$.

Pentru cazul obișnuit, $m_i=m_e=m_b=1$, expresia (43) devine:

$$\overline{v}_{u\,ad}=c\overline{\omega}_1[c_1\overline{F}^{0,5}+(c_2+c_3)\overline{F}]. \quad (44)$$

Dispersia vitezei de uzare de tip adeziv

$$D_{vu\,ad}=c^2\overline{\omega}_1^2\{(c_1\overline{F}^{m_e/2}+c_2\overline{F}^{m_i}+c_3\overline{F}^{m_b})^2c_{v\omega}+[0{,}5\,c_1m_e\overline{F}^{(m_e-1)/2}+$$
$$+c_2m_i\overline{F}^{m_i-1}+c_3m_b\overline{F}^{m_b-1}]^2c_{vF}^2\overline{F}^2\}, \quad (45)$$

unde: $c_{v\omega}$ este coeficientul de variație al vitezei unghiulare; c_{vF} — coeficientul de variație al sarcinii din lanț.

Pentru cazul cînd $m_e=m_i=m_b=1$, expresia (45) ia forma:

$$D_{vu\,ad}=c^2\overline{\omega}_1^2\overline{F}^2[c_1^2\overline{F}^{-1}(c_{v\omega}^2+0{,}25\,c_{vF}^2)+(c_2+c_3)^2(c_{v\omega}^2+c_{vF}^2)+$$
$$+c_1(c_2+c_3)\overline{F}^{-0,5}(2c_{v\omega}^2+c_{vF}^2)]. \quad (46)$$

În cazul existenței particulelor abrazive, caracteristicile statistice sînt:

Media vitezei de uzare de tip abraziv

$$v_{u\,ab}=c\overline{\omega}_1(c_1'\overline{A}+c_2'\overline{A}+c_3'\overline{A})=c\overline{\omega}_1\overline{A}(c_1'+c_2'+c_3')=c'\overline{\omega}_1\overline{A}, \quad (47)$$

cu constantele suplimentare: $c_1'=6{,}8\,K_{r1,2}/[M_{r-d},\,K_{r1,2}]$ și M_{r-d} fiind explicitate în (11) și respectiv (10); $c_2'=6{,}8\,\varphi_0d_3K_{ri}/(\pi M_{r-b})$, K_{ri} și M_{r-b} fiind date de (15) și respectiv (10); $c_3'=13{,}6\,dK_b/M_{b-r}$, K_b și M_{b-r} fiind date de (16) și respectiv (10); $c'=c(c_1'+c_2'+c_3')$.

Dispersia vitezei de uzare de tip abraziv

$$D_{vu\,ab}=\overline{v}_{u\,ab}^2\,(c_{v\omega}^2+c_{vA}^2), \quad (48)$$

Scanned with OKEN Scanner

unde: c_{vA} este coeficientul de variație global al abrazivului determinabil pe baza expresiei (9) prin aproximarea acestei funcții continue cu primii doi termeni ai dezvoltării în serie Taylor în jurul mediei. Astfel,

$$c_{vA}^2=(4/9)\,c_{vc}^2+(1/4)\,c_{vr}^2+(25/4)\,c_{v\sigma}^2, \tag{49}$$

cu: c_{vc} , c_{vr} — coeficientul de variație al concentrației și al razei abrazivului; $c_{v\sigma}$ — coeficientul de variație al rezistenței de rupere a particulei abrazive.

Cunoscînd media și dispersia vitezei de uzare de tip adeziv sau abraziv, se calculează caracteristicile statistice principale ale grosimii stratului uzat. Astfel:

$$\text{media } \bar{h}_{uz}=\bar{v}_u t_h, \tag{50}$$

$$\text{iar dispersia } D_{h\,uz}=\bar{v}_u^2\, t_h^2\, c_{vvu}^2. \tag{51}$$

Parametrul statistic de siguranță a lanțului la uzare va fi

$$a_{uz}=(h_{u\,lim}-\bar{h}_{uz})/\sqrt{D_{h\,uz}}=(h_{u\,lim}-\bar{v}_u\, t_h)/\bar{v}_u\, t_h\, c_{vvu}), \tag{52}$$

cu $h_{u\,lim}$ grosimea limită a stratului uzat ($h_{u\,lim}=0{,}03\ p$).

Funcția de fiabilitate din punctul de vedere al uzării are forma

$$R_{uz}=1-\int_0^{a_{uz}} f_{z\,uz}(t)\,dt, \tag{53}$$

în care $f_{z\,uz}$ este densitatea de probabilitate a variației vitezei de uzare. Rezultatele experimentale dovedesc că viteza de uzare, atît de tip adeziv, cît și de tip abraziv, este repartizată, în cazul lanțurilor, după o lege normală Gauss. În acest caz, funcția de fiabilitate (53) devine

$$R_{uz}=\Phi(a_{uz})=\gamma_{uz}/100, \tag{54}$$

cu γ_{uz} — fiabilitatea procentuală.

Se apreciază că fiabilitatea funcțională a lanțului la uzare este ridicată atunci cînd $\gamma_{uz}\geqslant 99\%$ ($a_{uz}\geqslant 2{,}35$), fiabilitatea este medie cînd $\gamma_{uz}=90\ldots 99\%$ ($a_{uz}=1{,}30\ldots 2{,}35$) și scăzută cînd $\gamma_{uz}=80\ldots 90\%$ ($a_{uz}<1{,}30$).

6. Fiabilitatea funcțională din punctul de vedere al ungerii

În cuplele de frecare ale lanțului, prezența lubrifiantului conduce pe de o parte la micșorarea coeficientului de frecare față de regimul uscat, iar pe de altă parte la reducerea semnificativă a vitezei de uzare. Așa cum s-a arătat, portanța fluidă se obține prin efectul de expulzare a lubrifiantului (de regulă ulei mineral sau unsoare consistentă). Atunci cînd grosimea filmului de lubrifiant este mai mică decît suma rugozităților sau decît diametrul particulelor abrazive vor apărea cu siguranță particule de uzură.

Scanned with OKEN Scanner

Parametrul statistic de siguranță a lanțului din punctul de vedere al ungerii

$$a_u=(\bar{h}-\bar{h}_r)/\sqrt{D_h+D_{hr}}, \qquad (55)$$

unde: $\bar{h}$ este media grosimii filmului de lubrifiant extrudat; D_h — dispersia grosimii filmului; $\bar{h}_r$ — media înălțimilor rugozităților; D_{hr} — dispersia înălțimilor rugozităților.

Expresia funcției de fiabilitate R_u va fi de forma (53) și (54).

Fiabilitatea procentuală a lanțului la ungere se consideră ridicată dacă $\gamma_u>90\%$, medie dacă $\gamma_u=80\ldots90\%$ și mică dacă $\gamma_u=50\ldots80\%$.

7. Fiabilitatea funcțională globală a lanțurilor

Acțiunea simultană a factorilor de exploatare (sarcină, turație, lubrifiant, particule abrazive etc.) asupra elementelor componente ale lanțului face ca fiabilitatea globală R_1 să fie considerată ca produsul fiabilităților funcționale parțiale de rupere a ecliselor R_r și de uzare a articulațiilor R_{uz}. Deoarece prezența sigură a peliculei continue de lubrifiant în zonele de contact ar atrage după sine evitarea procesului de uzare, se apreciază că fiabilitatea globală R_1 poate să fie considerată fiabilitatea de rupere R_r atunci cînd fiabilitatea din punctul de vedere al ungerii R_u este foarte mare ($R_u>0{,}99$), $R_1=R_r$.

Pentru cazul cînd fiabilitatea $R_u<0{,}99$ (cazul cel mai frecvent), fiabilitatea globală a lanțului $R_1=R_rR_{uz}$.

BIBLIOGRAFIE

1. PEEKEN, H., COENEN, W. *Einfluß der Schmierung auf des Verschleißverhalten von Rollenkelten.* In: Tribologie und Schmierungstechnik, 1, 1984.
2. KRAGHELSKI, I. V. ș.a. *Osnovî rascetov na trenie i iznos.* Moscova, Mașinostroenie, 1977.
3. TUDOR, A., PAVELESCU, D. ș.a. *Tribologie. Îndrumar de calcul.* București, Institutul Politehnic București, 1985.
4. TUDOR, A. *Influența particulelor abrazive asupra intensității de uzare a articulațiilor.* În: Stud. Cercet. Mec. Ap1.47, nr. 3, 1988.
5. MUR, D. *Osnovî i primenenia triboniki.* Moscova, Izd. Mir, 1978.
6. GAFIȚANU, M. ș.a. *Organe de mașini.* Vol. II. București, Ed. Tehnică, 1983.

Scanned with OKEN Scanner

18
Probleme de diagnostic tehnic

Prof. *Mihail Renert*
Institutul Politehnic București

În al doilea volum al seriei de față [1] a fost conturată problema diagnosticului tehnic în general și au fost prezentate exemple de urmărire prin calcul a *genezei* unor avarii. În cele ce urmează se va prezenta un exemplu de diagnostic de *prognoză* pentru o cameră de cocsare ce funcționează în condiții diferite — mai rele — decît cele prevăzute în proiect.

Camerele de cocsare din liniile tehnologice ale industriei petrochimice sînt corpuri cilindrice verticale, de gabarit mare (diametrul cca 5 000 mm și înălțimea părții cilindrice cca 20 000 mm).

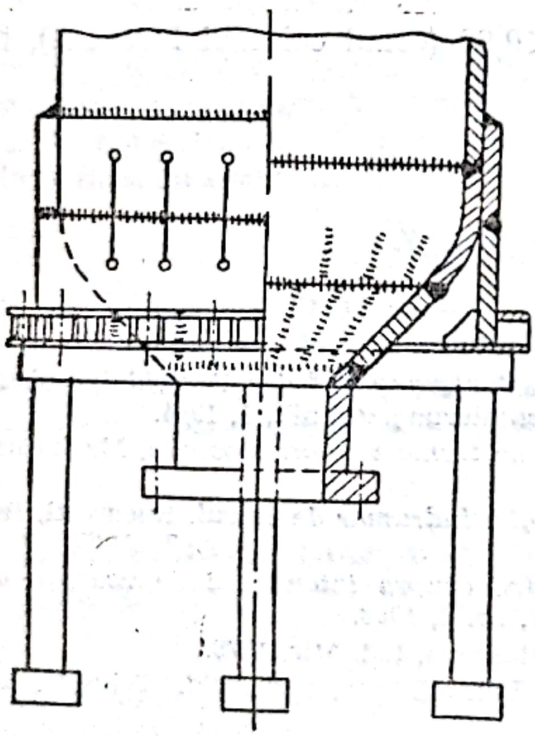


Fig. 18.1. Rezemarea camerelor de cocsare (proiect) [2].

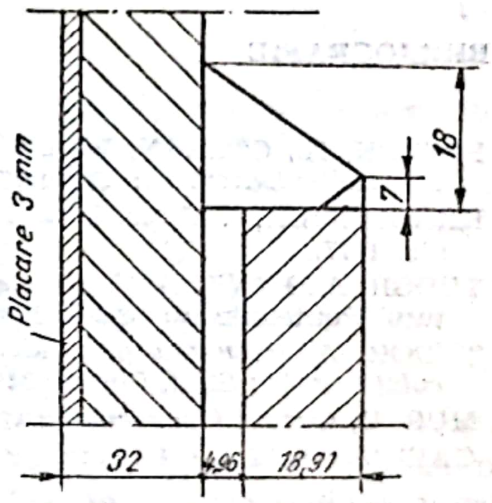


Fig. 18.2. Rezemarea camerelor de cocsare (realizare).

Caracteristică este construcția rezemării (fig. 18.1), prevăzută de proiectant cu joc nul între virola-suport și partea inferioară a corpului cilindric. La o cameră de cocsare nou executată a fost constatată situația ce

Scanned with OKEN Scanner

rezultă din fig. 18.2, jocul indicat în figură fiind o valoare medie pe circumferință.

Date fiind condițiile grele de exploatare — ciclicitate, temperaturi ridicate (fig. 18.3) și presiune de maximum 0,35 N/mm² la fund, institutul de proiectare de specialitate a verificat, cu ajutorul programelor de calcul ce le are la dispoziție, starea de tensiuni din zona îmbinării corp-suport. Au rezultat astfel, ca tensiuni maxime (extreme) în cuprinsul unui ciclu,

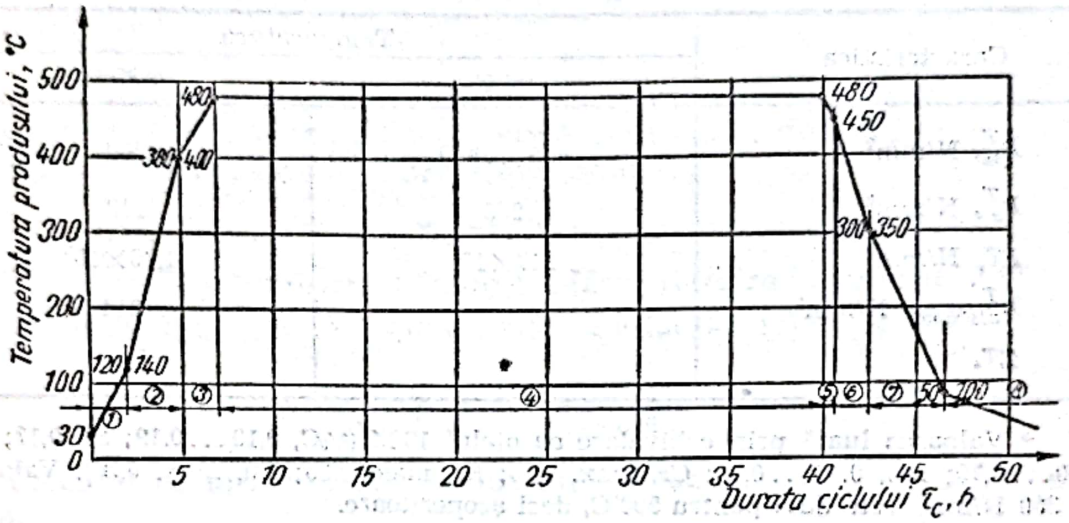


Fig. 18.3. Ciclograma fabricației cocsului de petrol [2]: 1 — încălzirea cu abur a camerei de cocsare; 2 — schimbarea camerelor de cocsare; 3 — idem; 4 — reacția tehnologică; 5 — liniștirea camerei; 6 — striparea cu abur; 7 — răcirea cu apă; 8 — tăierea și evacuarea cocsului de petrol (datele înscrise în figură sînt orientative; durata ciclului este de 48...50 ore; temperaturile indicate sînt cele maxime — la baza camerei).

$\sigma^{I}_{extr} = +147$ N/mm² (întindere), în perioada de încălzire și

$\sigma^{II}_{extr} = -174$ N/mm² (compresiune), în perioada de răcire.

Se urmărește aici verificarea durabilității camerei de cocsare, a cărei comportare se analizează, știind că aceasta este supusă la 180 cicluri de sarcină pe an (fig. 18.3). La 10 ani durată de viață cerută, rezultă ca necesară o durabilitate de 1 800 cicluri în total (oboseală oligociclică).

Caracteristicile materialului ce interesează în cazul de față sînt date în tabelul 18.1.

În zona suportului, tensiunile sînt compuse, adică reprezintă însumarea tensiunilor membrană σ_{membr} cu cele din încovoiere $\sigma_{înc}$:

$$\sigma_{membr} + \sigma_{înc} = \sigma^{I}_{extr};\ \sigma_{membr} - \sigma_{înc} = \sigma^{II}_{extr}. \qquad (1)$$

Ținînd seamă de valorile specificate ale tensiunilor extreme, din sistemul (1) rezultă

$$\sigma_{membr} = -13 \text{ N/mm}^2 \text{ (compresiune)};\ \sigma_{înc} = \pm 160 \text{ N/mm}^2. \qquad (2)$$

Scanned with OKEN Scanner

Tensiunea membrană (de compresiune) este sub 1/10 din tensiunea de încovoiere (în modul) și se neglijează mai departe. Se constată (din tabelul 18.1) că $|\sigma_{inc}| > R_c^{485°}$, adică are loc o intrare, locală, în curgere. Ten-

Tabelul 18.1

Caracteristicile materialului:
Oțel 16 Mo5 în table de la 18 mm grosime

Caracteristica	Temperatura	
	20°C	485°C
R_m^T, N/mm²	435 ... 440	360*
R_c^T, N/mm²	265	143
E^T, N/mm²	213×10^5	$1{,}76 \times 10^5$
$R_{d/100000}^T$, N/mm²		214
Z^T,		0,60

* Valoarea luată prin echivalare cu oțelul 16 M (%C, 0,13 ... 0,19; Si, 0,17; Mn, 0,40 ... 0,70; Mo, 0,40 ... 0,55; Cr, max. 0,30; Ni, max. 0,25; Cu, max. 0,20). Valoarea de 360 N/mm² este dată pentru 500°C, deci acoperitoare.

siunile se vor calcula conform [4] cu relațiile valabile pentru domeniul elastic:

$$\sigma_{inc} = \pm 6M/s^2, \text{ adică } M = S^2\sigma_{inc}/6, \tag{3}$$

unde s este grosimea materialului.

Luînd în considerare această valoare pentru momentul M, se admite că ecuațiile de continuitate, scrise pentru domeniul elastic, stînd la baza programului de calcul utilizat, rămîn valabile, fiind vorba despre deformații plastice relativ mici [v. relația (12)]. Dacă M_c este momentul încovoietor pentru care, în fibra extremă, se atinge valoarea $R_c^{485°}$, se poate scrie [4]:

$$M/M_c = \sigma_{inc}/R_c^{485°} \tag{4}$$

și

$$M/M_c = 1/2[3 - (\varepsilon_c/\varepsilon_{max})]^2, \tag{5}$$

unde deformațiile fibrei extreme sînt ε_c pentru M_c și ε_{max} pentru M, știind că $M \geqslant M_c$. Urmează

$$\varepsilon_c/\varepsilon_{max} = \sqrt{3 - 2M/M_c} = 3\sqrt{3 - 2(160/143)}, \tag{6}$$

unde s-a ținut seama de tabelul 18.1. Rezultă

$$\varepsilon_{max} = 1{,}145\ \varepsilon_c.$$

Scanned with OKEN Scanner

Pentru îmbinarea corp-suport a construcției ce se examinează se consideră, conform [5], un coeficient de concentrare a tensiunilor

$$\alpha = 1{,}6 \times 1{,}76 = 2{,}80, \tag{7}$$

valoare valabilă pentru domeniul *elastic*. Pentru domeniul plastic se recurge la relația Neuber [6,7]

$$\alpha^2 = \alpha_\sigma \, \alpha_\varepsilon ,$$

unde α_σ este coeficientul de concentrare a tensiunilor în domeniul plastic ($\sigma_{ef} > R_c^T$),

$$\alpha_\sigma = \varepsilon_{ef} / \varepsilon_{ref}. \tag{8}$$

adică raportul dintre tensiunea efectivă și cea de referință, iar α_ε coeficientul de intensificare a deformațiilor relative,

$$\alpha_\varepsilon = \varepsilon_{ef} / \varepsilon_{ref}. \tag{9}$$

Deoarece în formulele (4) ... (6) s-a făcut referire la valorile $R_c^{485°}$ (tabelul 18.1) și $\varepsilon_c^{485°}$, se consideră conform relațiilor (8) și (9)

$$\alpha_\sigma = \frac{\sigma_{ef}}{143} \text{ și } \alpha_\varepsilon = \frac{\varepsilon_{ef}}{148/(1{,}76 \times 10^5)}. \tag{10}$$

Calculul ce urmează este rezultatul cîtorva iterații, care nu se mai redau.

Se admite astfel $\alpha_\sigma = 1{,}45$. Ținînd seama de relațiile (8) și (7),

$$\alpha_\varepsilon = \alpha^2 / \alpha_\sigma = 2{,}8^2 / 1{,}45 = 5{,}406. \tag{11}$$

Valoarea ε_{max} conform relației (6) permite acum, ținînd seamă de relația (11), să se calculeze

$$\varepsilon_{ef} = \alpha_\varepsilon \times 1{,}145 \; \varepsilon_c = 5{,}406 \times 1{,}145 \, \varepsilon_c = 6{,}190 \; \varepsilon_c. \tag{12}$$

Pentru domeniul $\sigma > R_c$, curba σ—ε se modelează prin relația exponențială [7]

$$\sigma = R_c^T (\varepsilon_{ef} / \varepsilon_c^T)^n , \tag{13}$$

$$\text{unde } n = 0{,}75 \; \lg(S_k^T / R_c^T) / \lg \left(\frac{1}{R_c^T / E^T + 2 \cdot 10^{-3}} \ln \frac{1}{1 - Z^T} \right), \tag{14}$$

în care rezistența efectivă la rupere a epruvetei este

$$S_k^T = R^T (1 + 1{,}4 Z^T).$$

Aici, $R^T = R^{485} = 436$ N/mm², iar gîtuirea la rupere este $Z^T = Z^{485} = 0{,}60$ (v. tabelul 18.1). Se obține astfel

$$S_k = 802 \text{ N/mm}^2 \quad \text{și} \quad n = 0{,}222.$$

Atunci, cu relația (13), utilizînd și relația (12), se obține

$$\sigma_{ef} = R_c^{485°} (6{,}193)^{0{,}222} = 1{,}499 \; R_c,$$

Scanned with OKEN Scanner

adică $\alpha_\sigma = 1{,}499$. Această valoare fiind destul de apropiată de cea admisă inițial $\alpha_\sigma = 1{,}45$, iterația nu se mai continuă.

Deoarece $\sigma_{ef} < 2R_c^{485°}$, jocul deformațiilor are loc fără histerezis. Jocul total (pentru ciclul încălzire-răcire) este, conform fig. 18.4,

$$\Delta\varepsilon_{ef} = 2\sigma_{ef}/E^{485} = 2 \times 214/(1{,}76 \cdot 10^5),$$

aflîndu-ne în domeniul $\sigma_{ef} \in [\sigma_c^T;\ 2\sigma_c^T]$, adică

$$\boxed{\Delta\varepsilon_{ef} = 2{,}432 \cdot 10^{-3} = 0{,}243\%.} \qquad (15)$$

Valoarea *admisibilă*, $\Delta\varepsilon_{adm}$, rezultă din relația Manson-Coffin [8]:

$$\Delta\varepsilon_{adm} = \frac{3{,}5\,R^T}{E^T} N_r^{-0{,}12} + [\ln(1/1-Z^T)]^{0{,}6} N_r^{-0{,}6}, \qquad (16)$$

unde N_r este numărul de cicluri pînă la rupere. Pentru cazul de față, al obiectului analizat lucrînd în condiții de fluaj, se recomandă aplicarea unui coeficient de siguranță

$$(N_r)_{calcul}/(N_r)_{ef} = 10, \qquad (17)$$

astfel încît, în formula (16), se introduc $(N_r)_{calcul} = 10 \cdot 1\,800 = 18\,000$ cicluri. Se obține astfel, cu valorile caracteristicilor de material din tabelul 18.1,

$$\boxed{\Delta\varepsilon_{adm} = 7{,}678 \cdot 10^{-3} = 0{,}767\%.} \qquad (18)$$

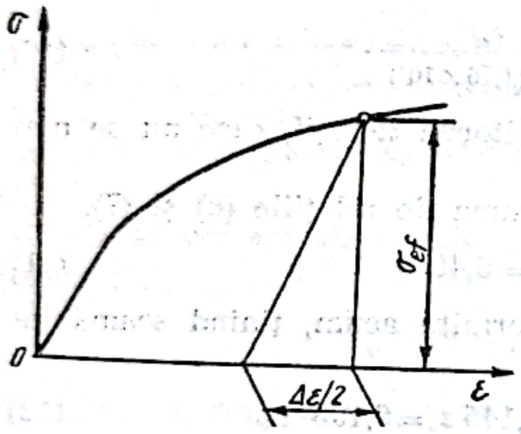


Fig. 18.4. Determinarea jocului deformațiilor.

Compararea valorilor $\Delta\varepsilon$ din relațiile (15) și (18) arată, ca rezultat al studiului de prognoză,

$$\Delta\varepsilon_{ef} \ll \Delta\varepsilon_{adm},$$

astfel încît se poate conchide că rezistența la oboseală a obiectului cercetat este asigurată pentru zece ani.

Favorabile din punctul de vedere al rezistenței la oboseală sînt următoarele aspecte:

a) tensiunile membrană, de compresiune, neglijate în calcul;

b) ciclul de solicitări termice se desfășoară cu o perioadă extinsă de temperatură staționară (v. fig. 18.3).

Se recomandă totuși aplicarea următoarelor măsuri de precauție, suplimentare:

1) revederea și, la nevoie, îmbunătățirea stării suprafeței cordonului de sudură dintre corp și suport (v. fig. 18.2), în strictă conformitate cu prevederile din proiect, pentru a se exclude orice amorsă de fisură; polizarea urmează a fi astfel realizată, încît să se obțină o trecere lină, de la cordon la materialul de bază;

2) inspectarea periodică, vizuală, și controlul cu lichide penetrante al cordonului, periodicitatea fiind de 12 luni.

Un alt exemplu de diagnostic tehnic de prognoză referitor la autoclavele pentru beton celular, este dat în [10].

Scanned with OKEN Scanner

BIBLIOGRAFIE

1. RENERT, M. Probleme de diagnostic tehnic. În: *Tehnologii. Calitate, Maşini.* Materiale T.C.M.M. 2, Bucureşti, Editura Tehnică, 1987.
2. PAVEL, A. *Avarii ale camerelor de cocsare îndelung exploatate (I).* Rev. de chimie, 33, nr. 11, 1982, p. 1 052.
3. Raport al I.C.I.T.P.R. Ploieşti, 1984.
4. RENERT, M. *Recipiente sub presiune solicitate în domeniul elastoplastic.* In: Rev. de chimie, 29, nr. 1, 1978, p. 85—88.
5. WEIL, N. A. şi MURPHY, J. J. *Design and Analysis of Welded Pressure Vessels Skirt Supports.* Trans. ASME, Journ. of Engng. for Ind., 27, feb. 1960, p. 1—14.
6. NEUBER, H. Trans. ASME, Journ. of Appl. Mech., 28, nr. 4, 1961, p. 554.
7. NEUBER, H. Konstruktion. 21, nr. 7, 1968, p. 245.
8. MAHUTOV, M. *Deformaţionnîe kriterii razruşeniia i rascet elementov konstrukţii na procinosti.* Moscova, Maşinostroeniia, 1981.
9. RENERT, M. *Oboseala oligociclică a recipientelor sub presiune* (I). Bulet. I.S.C.I.R., nr. 1, 1983, p. 9—31.
10. RENERT, M. ş.a. *Probleme de diagnostic tehnic la autoclavele pentru beton celular.* În: Construcţia de maşini, nr. 4, 1985, pag. 177.

Scanned with OKEN Scanner

VII

ACTUALITĂȚI ȘI INFORMAȚII TEHNICO - ȘTIINȚIFICE

Scanned with OKEN Scanner

19

SESIUNEA ŞTIINŢIFICĂ
Materiale metalice şi progresul tehnic

Academia Republicii Socialiste România, 20 noiembrie 1987

Prof. emerit dr. doc. ing. *Suzana Gâdea*
Membru corespondent al Academiei R.S.R.

În organizarea Secţiei de Ştiinţe Tehnice a Academiei Republicii Socialiste România, a avut loc în Aula Academiei, în ziua de 28.10.1987, o sesiune ştiinţifică cu tema de mai sus. Constituind a 5-a sesiune ştiinţifică anuală organizată de Academia R.S.R. în profilul metalurgic, această manifestare a cuprins lucrări privind producerea şi utilizarea de noi materiale metalice, tehnici noi de investigare şi de abordare a problematicii ştiinţei materialelor în perspectiva domeniilor de vîrf ale tehnicii actuale şi viitoare.

Prezentarea pe scurt a principalelor probleme cuprinse în lucrările sesiunii permite evidenţierea preocupărilor în acest domeniu în ţara noastră, direcţiile noi de cercetare, precum şi realizările notabile în obţinerea unor materiale metalice cu caracteristici superioare. Lucrările au fost grupate în funcţie de problematica tratată, lista acestora fiind în ordinea prezentării.

Un prim domeniu abordat a fost acela al realizării unor materiale metalice cu caracteristici cu totul deosebite, obţinute prin *solidificarea ultrarapidă* [1, 3, 14]. Această tehnică, aflată de mai mult timp în preocupările autorilor, constă în călirea din stare lichidă a aliajelor metalice, la viteza de răcire (solidificare) de ordinul a 1 milion °C/s. În acest caz, se realizează o serie de abateri de la solidificarea în condiţii normale, practicată în tehnologiile actuale de producere a materialelor metalice: îndepărtarea de la starea de echilibru; extensia solubilităţii în stare solidă, pe toată gama de concentraţii; fixarea extremă a granulaţiei la diametre sub 1 μm; controlul segregaţiilor etc.

Tratînd această problemă, în lucrarea [1] se evidenţiază posibilităţile utilizării în condiţii industriale accesibile a tehnicii de solidificare ultrarapidă, în instalaţii de mare productivitate, care asigură viteze de solidificare de ordin 10^5°C/s. Produsele astfel realizate sînt apoi prelucrate prin tehnologii specifice metalurgiei pulberilor, rezultînd deci piese metalice la producerea cărora au participat două tehnologii de vîrf. În aceste condiţii, se pot obţine îmbunătăţiri remarcabile ale calităţii unor aliaje

Scanned with OKEN Scanner

metalice, la compoziții de neconceput în cazul solidificării obișnuite. Astfel, aluminiul poate forma aliaje cu metale de tranziție, cu caracteristici deosebite. De exemplu, s-au obținut aliaje Al—Fe, cu un conținut de pînă la 8% Fe, acest element depășind stadiul de impuritate nocivă în aliajele de aluminiu, devenind un element util, ca urmare a extinderii solubilității Fe în Al în urma solidificării ultrarapide. Realizîndu-se rezistență la rupere de ordinul 800 N/mm², respectiv îmbunătățindu-se rezistența mecanică cu peste 20%, rezistența la oboseală cu peste 10%, ridicarea cu circa 53°C a temperaturii de lucru ca și comportarea la oxidare, aceste aliaje cunosc utilizări remarcabile. În același sens, pot fi asimilate și aliajele ultraușoare Al—Li. Prin tehnologia de fabricație a pieselor din aliaje de aluminiu, cuprinzînd o asociere a solidificării ultrarapide cu metalurgia pulberilor, se obțin în prezent în aviație reduceri ale greutății cu 17—27%.

În cadrul aliajelor pe bază de nichel, se pot obține superaliaje destinate fabricării turbinelor cu gaze (palete, discuri, etc.), cu ridicarea temperaturii de lucru, mărirea durabilității pieselor, reducerea cu 50% a consumului de cobalt etc.

Rezultate deosebite au fost obținute și în domeniul oțelurilor de scule, cu conținut de carbon pînă la 2,1% C, cînd a fost realizată o micșorare a dimensiunilor carburilor și apariția unor noi tipuri de carburi, cu efect favorabil asupra durității și tenacității etc.

Un domeniu de largă perspectivă îl constituie cel al aliajelor de titan. Prin tehnica solidificării ultrarapide se obțin fibre scurte, supuse apoi unei presări izostatice la cald, piesele realizate pe această cale fiind caracterizate prin consumuri reduse de energie și metal.

Analizînd mai în detaliu aliajele Al—Fe (1 . . . 14% Fe), în lucrarea [14] se prezintă particularitățile structurale ale materialelor solidificate cu viteză scăzută și ridicată (10^5°C/s), evidențiind faptul că se micșorează distanța interdendritică, iar compusul $FeAl_3$ nu se mai formează, ceea ce dovedește faptul că fierul se dizolvă în soluția solidă, la concentrații mult mai mari decît cele de echilibru. Pe această cale au fost obținute aliaje noi, cu proprietăți cu totul diferite de cele clasice. Astfel, extrudarea la cald a unor pulberi din aliajul Al—8% Fe, obținute prin solidificarea ultrarapidă, a permis obținerea unor piese cu rezistență foarte ridicată, cu caracteristici de ordinul celor obținute la aliaje de tipul Dural, Zicral, cu o foarte bună comportare în exploatare, structura păstrîndu-și caracteristicile pînă la temperaturi ce depășesc 300°C.

În același domeniu al solidificării ultrarapide lucrarea [3] studiază mai multe tipuri de reacții de descompunere la încălzire a aliajelor amorfe, considerate într-o nouă ipostază, aceea de precursori de aliaje cristaline cu structuri și proprietăți noi. Analiza este făcută în corelație cu diagramele de echilibru fazic, punîndu-se în evidență prezența compușilor în eutecticele din compozițiile amorfizabile, compoziții la care intervalul de temperaturi necesar a fi parcurs rapid la solidificare este minim. Analizîndu-se particularitățile soluțiilor solide amorfe, realizate prin tehnica solidificării ultrarapide, în cadrul unor sisteme de bază Ni—B și Cr—B, au fost remarcate particularitățile distribuției Si, Al, Fe, Ni în sisteme pluricomponente, formarea unor compuși intermetalici, ce încon-

Scanned with OKEN Scanner

joară zone eutectice, concentrații de siliciu etc. Aliajele și prealiajele din sistemele amorfizabile realizate dau bune rezultate la metalizare.

Abordînd problema *integrării materialelor metalice* în dezvoltarea tehnologică, în lucrarea [4] se menționează progresele spectaculoase pe plan mondial din domeniul materialelor supraconductoare, progrese care au făcut obiectul premiului Nobel pentru fizică în anul 1986. În corelația structură-proprietăți, lucrarea insistă asupra rolului formei geometrice a produsului metalic, în special cînd acesta se află sub formă de strat subțire sau sub formă de fibre cu suprafață specifică mare.

Un alt domeniu în care s-au obținut rezultate deosebite este cel al *metalurgiei pulberilor*, a căror utilizări se află în continuă extindere [16, 17]. În condiții de microproducție, prin metalurgia pulberilor au fost realizate scule cu profiluri speciale, pentru utilizări diverse, în majoritatea cazurilor în situații de unicat: scule cu geometrie specială, în vederea prelucrării pieselor mari din oțel, cu realizarea sfărîmării așchiilor; pentru operațiile de prelucrare cu precizie ridicată din producția de mașini-unelte; scule pentru găurirea adîncă, ca de exemplu platouri cu grosimea peste 50 mm și lungimi de peste 2 m; scule pentru prelucrarea tablei silicioase. În cadrul acelorași preocupări, au fost realizate duze din aliaje dure, utilizate în procesul de pulverizare a vopselelor și a particulelor abrazive, inclusiv în operațiile de sablare [16].

În același domeniu al sinterizării unor materiale pulverulente în lucrarea [17] se prezintă o serie de rezultate remarcabile obținute în fabricarea ceramicii moderne actuale, bazată pe oxizii de Al, Zr, pe nitrurile de Si, B, Al, semnalînd și noua clasă de supraconductori oxidici din sistemele Ba-La-Y-Cu-O, descoperită de deținătorii premiului Nobel pentru fizică pe anul 1986. Analizînd comparativ principalele caracteristici ale compușilor Al_2O_3, AlN, SiC, Si_3N_4, BN, se remarcă o serie de tehnologii avansate de obținere și sinterizare a compușilor BN, Si_3N_4 utilizați în construcția motoarelor ceramice, precum și în tehnologia de obținere a aluminei translucide (99,3% Al_2O_3) pentru construcția lămpilor cu vapori de Na. Sînt prezentate cercetările proprii finalizate într-un proces tehnologic aplicabil în țară de obținere a aluminei translucide. De asemenea sînt prezentate cercetările recente ale unui colectiv din care face parte și autoarea, prin care țara noastră și-a înscris prioritatea în domeniul obținerii noilor supraconductori oxidici Ba-La-Y-Cu-O, printre rezultatele proprii remarcîndu-se atingerea unei valori excepțional de ridicate pentru temperatura critică de trecere în stare supraconductoare (~120°K).

În cadrul realizării unor *oțeluri de înaltă calitate*, în mai multe lucrări [6, 9, 10, 20] se prezintă posibilitățile de atingere a unor performanțe deosebite, îndeosebi în domenii industriale de vîrf (de ex. energetica nucleară).

Pentru temperaturi de lucru foarte scăzute (pînă la —200°C), în lucrarea [6] se recomandă un oțel criogenic aliat Ni-Ti, la solidificarea căruia s-a aplicat o răcire rapidă, în lingotiere cu brîu de cupru. Testînd mai multe variante de tratament termic, optimă s-a dovedit a fi călirea ciclică din domeniul mono- și bifazic, cînd s-au atins caracteristici mecanice la valori ridicate, atît la 20°C, cît și la —196°C: R_m=1 168 N/mm² și 172 J (20°C), respectiv 1 231 N/mm² și 57 J energia de rupere la —196°C. Autorii garantează acest oțel criogenic pentru condiții de exploatare pînă la

Scanned with OKEN Scanner

—200°C, apreciind că s-a realizat o ameliorare a compromisului rezistență-tenacitate.

În domeniul construcțiilor sudate pentru destinații speciale de mare răspundere (energia nucleară), în lucrarea [10] se susține posibilitatea utilizării în bune condiții a oțelului slab aliat Cr-Mo-V. Ample studii metalografice și fractografice au evidențiat prezența unor carburi aciculare sau sub formă de plachetă, în zona influențată termic a sudurii, cu efect accentuat de fragilizare a construcțiilor sudate. În vederea diminuării acestei fragilizări, au fost stabilite mai multe variante de tratament termic de detensionare, al căror efect a fost probat prin determinarea caracteristicilor mecanice la cald, remarcîndu-se ruperea ductilă a construcțiilor sudate. Se apreciază că aplicînd tehnologia stabilită, pot fi obținute construcții sudate cu fiabilitate ridicată, utilizînd oțelurile slab aliate Cr-Mo-V.

În același domeniu al oțelurilor sudabile, în lucrarea [9] se studiază fenomenul de fragilizare a oțelurilor în mediu de hidrogen sulfurat. Remarcînd faptul că o serie de construcții metalice, cum ar fi picioarele platformelor marine, sînt afectate de procesul de degajare a hidrogenului, este evidențiat faptul că se pot realiza acumulări de hidrogen prin condensare, care determină presiuni de pînă la 2 000 bar. Analizînd procesul formării și propagării fisurilor, sub acțiunea unor solicitări de tracțiune și compresiune, printr-o metodologie de determinare complexă, autorii pun în evidență mecanismul specific fisurării sub acțiunea hidrogenului, determinînd tenacitate la rupere K_{1C} în mediu de H_2S, oferind de asemenea o serie de relații de calcul în acest sens.

În grupa materialelor metalurgice pentru centralele nucleare se încadrează și oțelul inoxidabil durificat prin precipitare din clasa 0,05% C — 17% Cr — 4% Ni — 4% Cu, prezentat în lucrarea [20]. Studiul complex al acestui oțel, în condiții de solicitări intense, a evidențiat necesitatea impunerii unui control riguros asupra încărcării, valorile caracteristicilor mecanice la temperaturi ridicate fiind remarcabile. Stabilind curba de tendință a mărcii și comparînd-o cu valorile caracteristicilor mecanice minim impuse, se susține comportarea bună în condiții de exploatare grele a acestui oțel.

Rezultate bune au fost obținute în ultimul timp și în domeniul *fontelor turnate* în piese, îndeosebi în cazul celor de înaltă performanță, destinate unor domenii de mare răspundere [18, 23, 25].

Pentru obținerea unor piese mari destinate energeticii nucleare, din fontă cu grafit nodular feritică, supuse unui control riguros și complex, în lucrarea [18] se propune o tehnologie de fabricație bazată pe utilizarea unor materiale metalice de înaltă puritate, o predesulfurare și dezoxidare cu SiCa la evacuarea din cuptor, urmată de desulfurarea, demanganizarea și desilicierea fontei lichide înainte de modificare în oală, prin adaos de minereu de fier și oxigen. După o reîncălzire a fontei lichide în cuptor, urmează modificarea cu prealiaje de tip Nodulin SC și postmodificarea cu FeSi, printr-un sistem de modificare în flux continuu: oală de modificare cu evacuarea fontei, pe la bază, într-un bazin în care există postmodificatorul și de aici în forma de turnare. Au fost obținute fonte feritice cu R_m=550 N/mm² și $R_{0,2}$=280 N/mm².

Scanned with OKEN Scanner

De o atenție deosebită se bucură în prezent fonta cu grafit nodular bainitică, abordată în lucrările [23, 25].

În lucrarea [23] se prezintă rezultatele obținute în mai multe întreprinderi din țară în producerea a două categorii de piese din fontă cu grafit nodular bainitică: a) cu tenacitate și rezistență la oboseală la valori ridicate (pentru arbori cotiți pentru motoare diesel) și b) cu rezistență la uzare și solicitări mecanice intense (pentru roți dințate la reductoarele transportoarelor de mine). În primul caz, tehnologia stabilită permite obținerea unor piese din Fgn caracterizate printr-un grad ridicat de finisare a structurii, atît în stare turnată, cît și după tratamentul termic de călire, cu transformare izotermă a bainitei la 370°C, la o aliere Ni-Cu-Mo, caracteristicile mecanice stabilite pe probe prelevate din piesele tratate termic fiind: $R_m > 850$ N/mm², $A > 5\%$, $R_{forfecare} > 780$ N/mm², rezistență la oboseală peste 110 000 cicluri (65 ± 63 daN·m) și duritatea 280—300 HB. În cel de-al doilea caz, la o transformare izotermă în domeniul de formare a bainitei inferioare și la o aliere slabă de tipul Ni—Cu, Cu—Mo, Ni—Mo, se obțin: $R_m > 1\,200$ N/mm², duritatea peste 450 HB, $A = 1 \ldots 3\%$. Pentru toate aceste piese, tehnologiile stabilite permit utilizarea unor conținuturi reduse de molibden (sub 0,25% Mo) sau chiar absența acestui element de aliere, deosebit de scump și deficitar, urmărindu-se realizarea unor grade de aliere cît mai reduse, suplinindu-se acțiunea specifică a acestor elemente prin măsuri ce afectează operațiile de elaborare — modificare-turnare. De asemenea, au fost găsite posibilități de valorificare a unor deșeuri de oțel aliat, inclusiv a celui de tip Mo—Cr—Ni (MoCN).

În cea de-a doua lucrare din acest domeniu [25] se abordează problema producerii roților dințate din echiparea troliilor, propunînd două tehnologii de realizare a fontelor cu grafit nodular bainitice. Pentru piesele de dimensiuni scăzute și de serie mică, se recomandă utilizarea unor fonte aliate în domeniul 0,5% Mo+0,5% Ni, 0,5% Mo+0,5% Cu sau 0,5% Ni+0,5% Cu, supuse tratamentului termic de călire izotermă, cu formarea bainitei inferioare în probele cu diametrul de 30 mm, în timp ce la grosimi mai mari (50 mm) în centru nu se mai formează bainită. Caracteristicile mecanice, determinate pe probe au fost: $R_m = 800$ N/mm² și $A = 5\%$. În cazul pieselor mari, se apreciază că nu se realizează o călire pătrunsă, iar în băile de săruri are loc o supraîncălzire accentuată, motiv pentru care se recomandă obținerea structurii bainitice direct din turnare, prin alieri la valori mari. Aliind fontele cu 4% Ni, au fost obținute structuri în stare turnată conținînd un amestec între bainita inferioară și cea superioară. Supunînd aceste piese la reveniri înalte, în domeniul 600—700°C, au fost obținute, la 650°C, caracteristici mecanice de ordinul $R_m = 1\,000$ N/mm² și $A = 2\%$.

În condițiile unei diversități accentuate, *materialele metalice neferoase* destinate unor domenii speciale ale tehnicii sînt în continuă expansiune, caracteristicile obținute permițînd realizarea unor produse finite de înaltă competitivitate, inclusiv în ceea ce privește consumurile de energie și materiale [11, 15, 22].

Analizînd rolul materialelor în dezvoltarea electronicii și fotonicii, în lucrarea [11] se efectuează o retrospectivă a evoluției acestor materiale cu caracteristici speciale, remarcînd faptul că, pornind de la utilizarea a trei componente (Fe, Cu, sticlă izolatoare), s-a ajuns în prezent la produce-

Scanned with OKEN Scanner

rea de materiale noi, care cunosc perfecționări deosebite. Semnalînd importanța cu totul aparte a apariției tranzistorului pe bază de Ge în anul 1948 și rolul acestuia în dezvoltarea electronicii, se subliniază și faptul că înlocuirea Ge cu Si a deschis calea stabilirii unor tehnologii tot mai perfecționate în acest domeniu. Perspective deosebite au în electronică și materialele conductoare și magnetice, insistîndu-se asupra necesității unei analize fundamentată teoretic a materialelor de performanță, condiție esențială pentru obținerea unor produse cu caracteristici tot mai bune.

Abordînd problema realizării unor magneți cu caracteristici deosebite, destinați unor domenii importante, în lucrarea [22] se urmărește influența defectelor structurii cristaline asupra proprietăților magnetice ale aliajului $Mn_{1,11}Al_{0,89}$. Bazată pe tehnici de experimentare de înaltă performanță, care permit studiul defectelor structurale intracristaline, în lucrare se urmărește în principal caracterizarea fazei specifice τ. Analiza literaturii de specialitate și determinările proprii permit autorilor să susțină două mecanisme cu posibilitate mai mare de formare a acestei faze, evidențiind de asemenea interdependența dintre defectele de structură și proprietățile aliajului studiat.

Pornind de la importanța tot mai mare a titanului și aliajelor sale, îndeosebi în domeniile industriale de vîrf (de ex. în aeronautică), în lucrarea [15] se prezintă preocupările în direcția obținerii acestor materiale din materii prime indigene. Fluxul tehnologic complex prezentat, care stă la baza producerii în condiții industriale a titanului în țara noastră, pornește de la utilizarea ilmenitului aluvionar, adus sub formă de burete de titan, din care rezultă în final atît lingourile de titan, purificate în mai multe etape, cît și FeTi. Tehnologia realizată cuprinde un complex de probleme abordate, urmărind nu numai realizarea unor consumuri minime de energie și materiale, în diferitele etape ale procesului tehnologic, dar și recuperarea unor materiale utilizate în acest proces (de ex. Mg).

În domeniul *procedeelor speciale de turnare,* în vederea obținerii unor piese de înaltă calitate, se remarcă sinterturnarea [2] și tehnologiile bazate pe obținerea unor materiale metalice cu omogenitate și finisare structurală avansată [19].

Sinterturnarea constituie o combinație a două tehnologii, respectiv turnarea într-o cavitate, corespunzătoare piesei ce trebuie obținută, a unor pulberi metalice cu caracteristici deosebite (de ex. rezistență mare la uzare), urmată apoi de turnarea unui material în stare lichidă, cu rol de liant, ce ocupă spațiul dintre materialele granulare, prin infiltrare. Menținînd la temperatură constantă acest amestec, are loc sinterizarea acestuia, prin procese de difuzie, precipitare, interacțiune chimică etc. Pe această cale se obțin din materiale compozite piese de complexitate dintre cele mai ridicate, cu o mare compactitate (similară celor turnate). În lucrarea [2] s-a exemplificat această tehnologie prin producerea unor piese destinate operațiilor de foraj. Ca material abraziv se utilizează pulberile de carburi de wolfram (W_2C+WC), iar ca material infiltrant (liant) a fost stabilit un bronz complex aliat, din sistemul Cu—Sn—Mn—Si—Mo, cu proprietăți superioare celui clasic. Au fost realizate de asemenea și alte materiale de infiltrare, ce conțin și pînă la 20% Ni, pentru

Scanned with OKEN Scanner

solicitări mai intense. Sculele cu complexitate ridicată realizate au dat rezultate deosebite în operațiile de foraj.

În vederea realizării unor piese turnate cu caracteristici superioare în lucrarea [19] s-a reținut din literatura de specialitate două tehnologii care au dat bune rezultate în condiții industriale. O primă tehnologie presupune realizarea unui material granular (5—8 mm) prin răcirea rapidă (pînă la 2 000°C/s) a unui aliaj a cărui temperatură se află în intervalul lichidus-solidus sau puțin peste lichidus. Utilizarea în încărcătura agregatului de elaborare pînă la 30% din acest material granular asigură, prin ereditate, obținerea unor aliaje turnate în piese cu caracteristici superioare. Se remarcă faptul că în cazul unor aliaje din sistemul Al—Si—Cu proprietățile s-au dublat, considerîndu-se posibilă aplicarea acestei tehnologii la producerea pieselor din fonte înalt aliate cu crom, a fontelor cu grafit nodular, a oțelurilor rapide etc. Cea de-a doua tehnologie urmărește obținerea unor aliaje cu omogenitate structurală avansată, printr-un proces de amestecare a aliajului aflat în intervalul lichidus-solidus. În aceste condiții, prin ruperea dedritelor, structura este puternic finisată, iar eutecticul capătă o repartizare uniformă. În cazul unor aliaje Al—Si—Cu, a fost micșorat volumul de retasură, iar diferența structurală între zonele centrale și marginale ale pieselor este redusă la minimum.

Caracteristicile materialelor metalice joacă un rol important și în procesele de frecare și uzare, din care cauză există preocupări susținute în vederea realizării unor astfel de *materiale, rezistente la uzare,* atît prin tratamente superficiale, cît și prin compoziții chimice adecvate, inclusiv în condițiile înlocuirii unor materiale scumpe și deficitare [12, 13, 21, 24].

Abordînd problema importanței materialelor în procesele de frecare și uzare, în lucrarea [21] se efectuează o amplă analiză a materialelor metalice, privite prin această prismă. Subliniind importanța lubrifiantului în procesele de frecare cu ungere, se atrage atenția asupra faptului că acesta nu trebuie să conducă la neglijarea rolului stratului superficial al pieselor care influențează hotărîtor efectele frecării. Se insistă asupra necesității alegerii materialului și a tratamentului superficial în strînsă corelație cu condițiile de lucru ale pieselor. În domeniul pieselor din oțel, se recomandă structuri cu grad avansat de finisare, constituite din perlită, bainită sau martensită, excluzîndu-se structurile monofazice (ferită sau austenită), cu granulație mare. Rezultate bune se obțin de asemenea în cazul bronzurilor bifazice cu pînă la 20% Sn, cu o structură realizată la o solidificare cu viteză ridicată. Costul ridicat al bronzurilor utilizate tradițional în acest domeniu a condus la încercări de înlocuire cu materiale mai ieftine, fie că este vorba de bronzuri cu aluminiu [13], fie chiar cu fontă tratată superficial [12].

Astfel, pentru lagărele conului sapelor de foraj, în lucrarea [13] se propune placarea în vid, prin sudarea multistrat pe suport de oțel, a unor piese din bronz cu aluminiu complex aliat, din sistemul Cu—Al—Fe—Ni—Mn, ultimul element îmbunătățind sensibil proprietățile de turnare. Tehnologia realizată, de placare a pieselor din oțel, impune necesitățile ca tratamentul termic aplicat sapei de foraj, după placarea acesteia, să nu afecteze calitatea operației. Testările acestor piese bimetalice au evidențiat faptul că pierderile la uzare sînt inferioare celor realizate la

Scanned with OKEN Scanner

bronzurile cu staniu, în timp ce compararea cu lagărele din aliaje cu argint este considerată satisfăcătoare.

O tehnologie interesantă de recondiționare a pieselor din construcția de mașini este recomandată în lucrarea [12], în care se prezintă recondiționarea cuzineților pentru tractoarele grele, prin înlocuirea bucșelor din bronz uzate cu cele din fontă sau oțel, supuse în prealabil unei operații de sulfizare. Instalația realizată în acest scop, bazată pe procesul de sufizare anodică cu o durată scurtă (sub 1 h), are o serie de componente originale, cum ar fi dispozitivul de purificare a sării și un procedeu de curățire a pieselor, cu efecte exprimate în reducerea consumului de sare și îmbunătățirea calității pieselor. Se recomandă un regim optim de sulfizare, caracterizat printr-o intensitate de 4,5 A/dm^2, o durată de 15 min și o temperatură de 200°C. Testările pieselor din fontă obținute pe această cale arată nu numai că le pot înlocui pe cele din bronz, dar și faptul că pierderile în greutate sînt mai scăzute cu circa 25% față de acestea.

O realizare deosebită o constituie și obținerea materialelor din sistemul W — 3,8 ... 4,1% C, înalt rezistente la uzare, destinate sudării părții de atac a sapelor de foraj [24]. Aceste materiale se obțin în urma încălzirii și topirii unui amestec constituit din pulberi de wolfram și negru de fum, urmată de o solidificare rapidă. În urma măcinării, rezultă o pulbere din sistemul W—C, introdusă în tuburi metalice, ce constituie electrozi de depunere pe partea activă a sapelor de foraj. Se formează în acest mod un strat superficial de oțel topit ce înglobează particule de W_2C, foarte dure, care asigură pieselor o mare rezistență la uzare, în condiții grele de lucru.

Într-o serie de alte lucrări [5, 7, 8] se tratează alte aspecte referitoare la utilizarea superioară a materialelor metalice.

Astfel, în lucrarea [8] se tratează problema stabilizării dimensionale a materialelor metalice supuse la diferite solicitări, cum ar fi de exemplu vibrațiile. Studiile teoretice efectuate se referă la ecuațiile de mișcare a dislocațiilor în medii elastice, în condițiile unei dislocații singulare și a rețelelor de dislocații, cu luarea în considerare a altor defecte din cristale.

În problema determinării prelucrabilității prin deformare plastică la rece a materialelor metalice, în lucrarea [7] se propune o metodă de analiză globală, bazată pe metode directe și indirecte de investigare. Această metodă este exemplificată cu ajutorul unui oțel aliat, la care au fost realizate curbe pentru stabilirea prelucrabilității. Astfel de determinări pot stabili caracteristici ce vor însoți oțelul livrat, evidențiindu-se influența elementelor de aliere asupra modului de ecruisare. Se propune o grupare a materialelor metalice funcție de caracteristicile de prelucrabilitate.

O interesantă evocare a lui Réaumur, ca precursor al introducerii experimentului în metalurgie și crearea științei materialelor metalice se efectuează în lucrarea [5]. Personalitate complexă, preocupat de domenii dintre cele mai diverse, Réaumur este autorul unor descoperiri sau realizări importante în metalurgie: obținerea fontelor maleabile (1722); realizarea oțelului prin topirea fierului vechi și a fontei; studiul proceselor de carburare și călire și a tenacității materialelor metalice. A studiat ruperea fontelor și oțelurilor, a stabilit tehnologii de forjare a pieselor mari (ancore) și de obținere a „fierului alb" (tablă cositorită). De numele său

Scanned with OKEN Scanner

se leagă realizarea termometrului cu alcool și a sticlei albe, respectiv porțelanul Réaumur. Considerat a fi fondatorul siderurgiei științifice, se menționează că invențiile sale au devansat epoca în care a trăit, fiind actuale și astăzi.

În ordinea prezentării, lucrările la care s-a referit materialul prezentat au fost următoarele:

BIBLIOGRAFIE

1. GĂDEA, SUZANA: *Materiale metalice microcristaline și nanocristaline obținute prin solidificarea ultrarapidă.*
2. DRĂGAN, I., CONSTANTINESCU, V. și ORBAN R. *Sinter-turnarea, procedeu modern de confecționare a pieselor din aliaje speciale și materiale compozite.*
3. PETRESCU, MARIA, ISAC, MIHAELA, BOJIN, D. și CĂLIN MARIANA *Aliaje și prealiaje din sisteme amorfizabile.*
4. DRIMER, D., ZGURĂ, GH., MICLOȘ, V., IONESCU, S., DUMITRESCU, D., IONESCU, BOGDANA, PARIS, A. și SZEL, P. *Integrarea materialelor metalice în dezvoltarea tehnologică.*
5. COLAN H. *Reamur, introducerea experimentului în metalurgie și crearea științei materialelor metalice.*
6. TRUȘCULESCU, M și POPA, M. *Cercetări asupra ameliorării compromisului rezistență — tenacitate la oțelurile criogenice, aliate cu Ti-Ni.*
7. TEODORESCU, M. *Tendințe privind determinarea prelucrabilității prin deformare plastică la rece a materialelor metalice.*
8. DRĂGULESCU, DOINA și BRÎNDEU, L. *Cîteva considerații asupra ecuațiilor de mișcare a dislocațiilor în medii elastice.*
9. CIOCLOV, D. și FARBAȘ, N. *Cercetări privind rezistența în medii de hidrogen sulfurat a unor oțeluri sudabile.*
10. PASCU, R și PASCU, MIHAELA. *Cercetări privind promovarea oțelurilor românești slab aliate Cr—Mo—V la construcții sudate de mare răspundere.*
11. CĂTUNEANU, V., IANCU, O. și ȘCHIOPU, P. *Rolul materialelor în dezvoltarea electronicii și fotonicii.*
12. TUDORAN, P., MANIU, A., IOVĂNAT, R., ȘERBAN, C., BOGDAN, C. și RAIC, V. *Materiale și tehnologii noi utilizate la recondiționarea pieselor în construcția de mașini.*
13. OPREA, FL. și CIOCAN, N. *Noi tipuri de aliaje pentru instalațiile de foraj de mare adîncime.*
14. PETRESCU, N., PETRESCU, MARIA, ISAC, MIHAELA, BOJIN, D. și CRISTEA, LIDIA. *Aliaje ale aluminiului cu metale de tranziție, solidificate ultrarapid.*
15. BUJGOI, GH și ILENESCU, E. *Tehnici de elaborare a titanului și a aliajelor sale.*
16. SONTEA, S., STOIAN, A., CIOLACU, E. și CRĂCIUNOIU, N. *Realizări de noi tipuri de scule din aliaje dure pentru industria constructoare de mașini.*
17. LĂBUȘCĂ, ELENA. *Materiale sinterizate metalice și ceramice actuale pentru tehnologii avansate.*
18. COMAN, GH., ALEXANDRU, I., MUNTEANU, C. și COJOCARU, I. *Piese de înaltă calitate pentru centrale termonucleare, din fontă cu grafit nodular cu masă de bază feritică.*
19. SOFRONI, L. și COCOLAȘ, S. *Aliaje pentru piese turnate cu proprietăți fizice, mecanice și tehnologice superioare.*

Scanned with OKEN Scanner

20. RIZESCU, C., LAȘCU, S. și TEODORESCU, M. *Materialele metalurgice pentru centrale nucleare.*
21. PAVELESCU, D., PASCOVICI, M., DUMITRESCU, C. și TUDOR, A. *Importanța materialelor în procesele de frecare și uzare.*
22. GÂDEA, SUZANA și PALI, L. *Influența defectelor structurii cristaline asupra proprietăților magnetice ale aliajului* $Mn_{1,11}Al_{0,89}$.
23. RIPOȘAN, I., CHIȘAMERA, M., DEMENY, Z., VLĂDOIU, M., KOPUȘI, C., BOTNAR, E. și NICOLESCU, C. *Fonte cu grafit nodular bainitice cu performanțe superioare.*
24. FLORIAN, E., FRUMOSU, L și AVRAM, I. *Transformări structurale ale aliajelor din sistemul W—C în domeniul de concentrații 3,8—4,1% C.*
25. DUMITRESCU, C., BOJIN, D. și BRÎNZEI, P. *Utilizarea fontelor cenușii cu structură modificată la execuția pieselor de înaltă rezistență mecanică.*

Scanned with OKEN Scanner

20

A 5-A CONFERINȚĂ A SPECIALIȘTILOR ÎN FRECARE—UNGERE—UZARE

Tribotehnica — 87

Porf. dr. doc. șt. *Dan Pavelescu*
Președintele Comisiei de Tribologie a C.N.I.T.
Institutul Politehnic București

În perioada 24—26 septembrie 1987 au avut loc lucrările celei de a 5-a Conferințe a specialiștilor în frecare—ungere—uzare „TRIBOTEHNICA—87", cu participare internațională, care s-a desfășurat la Institutul Politehnic București, organizator principal împreună cu Comisia de tribologie a CNIT.

Au mai participat la organizarea acestei conferințe Academia Republicii Socialiste România, cele trei mari institute centrale de profil, Institutul Central pentru Construcție de Mașini (al MICM), Institutul Central pentru Industria Electrotehnică (al MIEt) și Institutul Central pentru Utilaj Greu (al MIUG), Institutul de Petrol și Gaze din Ploiești (MEI), Institutul de Cercetări, Inginerie Tehnologică și Proiectări pentru Rafinării Ploiești (al MIChP), Întreprinderea „23 August" București (MIUG) și Întreprinderea „Mecanică" Gheorghieni (MICM).

De la început această manifestare s-a bucurat de sprijinul CNST și CNIT, astfel încît a putut fi anunțată din timp în țară și peste hotare. Totodată, prin afilierea Comisiei de Tribologie a CNIT la Consiliul Internațional de Tribologie, cu sediul la Londra, — România devenind astfel membră cu trei voturi în acest consiliu, un loc fiind de vicepreședinte — conferința a fost anunțată și pe această linie în numeroase țări, din care au fost trimise lucrări, de exemplu India și Venezuela.

Au participat tovarășii: Florin Tănăsescu — vicepreședinte al CNST, Acad. Radu Voinea — președintele Academiei R.S.R., Viorica Neculau — adjunct al ministrului educației și învățămîntului, Mihai Paraschiv — adjunct al ministrului industriei chimice și petrochimice, Paul Frunză — inspector general, de la Inspectoratul de Stat al calității produselor, prof. dr. ing. Tache Voicu — rectorul Institului Politehnic București, ing. Lucica Stanciu — șef secție Știință a Comitetului Municipal P.C.R. București, prof. Jean Moncea — prim secretar al Centrului Universitar București al P.C.R., ing. Gheorghe Prodan — director general al Institutului Central pentru Construcția de Mașini, conf. dr. ing. Dinu Taraza — secretar al comitetului de partid P.C.R. al I.P.B.; alți reprezentanți ai unor institute și organisme interesate.

Scanned with OKEN Scanner

La ședința de deschidere, au fost prezenți peste 140 specialiști din provincie și peste 150 din capitală; numărul specialiștilor din București a crescut atunci cînd s-a trecut la dezbateri în cele 6 secții.

Au participat efectiv la conferință 22 profesori și cercetători de prestigiu din mai multe țări (U.R.S.S., Franța, Italia, R.F.G., India, R.D.G., R.P.B., R.P.P., R.S.C.), iar numai cu lucrări și din alte țări; în total au fost incluse 38 de lucrări ale celor 80 de specialiști străini.

S-a bucurat de mare interes punerea în discuție în plenul conferinței a unui studiu pregătit cu grijă (difuzat tuturor participanților) cu privire la *coeficientul de frecare de alunecare*, evoluția și utilitatea sa, prin care, pe baza unei aprofundate analize, se combătea părerea exprimată de un cunoscut specialist englez (Braithwaite, în 1978) care afirmase într-o revistă de prestigiu (WEAR) că „coeficientul de frecare și-a servit utilitatea și va fi eventual numai de interes istoric". Prin cuvîntul lor șase specialiști străini și mai mulți români au apreciat inițiativa organizatorilor, calitatea și concluziile studiului și au adus și argumente pe această linie.

Dezbaterile unor probleme specifice s-au derulat în șase secțiuni.

În prima secție au fost prezentate metode noi de calcul al cuplelor de frecare în regim uscat și limită, de determinare a timpului optim de rodaj și a programului de rodaj la motoare diesel, metode de încercare scurtate la frecare și uzare, implicațiile economice ale tribologiei în conservarea energiei, tribomodelare fizico-stohastică și în uzarea de cavitație etc.

Secția a doua, axată pe ungerea fluidă, a cuprins diferite aspecte noi ale ungerii lagărelor cu alunecare (cu curgere laminară și turbulentă), ale etanșărilor frontale, ale angrenajelor cilindrice și ale ungerii elastohidrodinamice la angrenaje și rulmenți.

În secția a treia, o parte dintre comunicări a tratat aspecte de frecare-ungere-uzare specifice lagărelor și rulmenților miniaturali, iar o altă parte a cuprins o varietate de standuri și metode de măsurare a proceselor și parametrilor tribologici din diferite domenii ale construcției de mașini.

Procesele de uzare specifice prelucrării prin așchiere, electroeroziune, lepuire, deformare plastică etc. au fost prezentate în secția a patra, în care mai multe lucrări s-au axat și pe procesele de ungere și uzare ale mașinilor-unelte, utilajelor, motoarelor cu ardere internă, unor motoare electrice etc.

Dat fiind multitudinea aspectelor tribologice în construcția de mașini, o serie de aspecte noi metalurgice care determină durabilitatea suprafețelor de frecare din aliaje feroase și neferoase au format obiectul unei secții separate (a cincea), în care au fost prezentate și unele posibilități de înlocuire a materialelor deficitare, precum și de utilizare a noi materiale metalice, plastice, compuse.

Ultima secție, avînd profil de lubrifianți, aditivi și testare, a prezentat diferite materiale de ungere, atît cele utilizate în prelucrarea metalelor și în industria siderurgică, cît și diferite uleiuri de motoare și transmisii auto, uleiuri sintetice, unsori, aditivi de extremă presiune, de antiuzare, pachete de aditivi, lubrifianți contaminați etc., precum și aspecte privind organizarea activității de ungere în unele întreprinderi.

Scanned with OKEN Scanner

În acest mod, în cele șase secții ale conferinței a fost prezentată o gamă largă și cuprinzătoare de fenomene tribologice care au loc în funcționarea mașinilor și utilajelor, cu noi metode de calcul, proiectare, întreținere, testare etc., în vederea măririi durabilității și fiabilității, a reducerii consumului de materiale și lubrifianți, precum și a energiei prin frecare.

Dezbaterile pe secții au avut ca bază de discuție referate de prezentare a lucrărilor pregătite de 50 referenți oficiali, specialiști din diferite catedre ale Institutului Politehnic București și din alte institute din țară. Au mai fost prezentate de unii oaspeți străini și participanți români și alte 16 lucrări necuprinse în program sau nepredate la timp.

Se constată că din anul 1978, de la prima conferință pe țară de la Galați, participarea cu lucrări a crescut continuu, ajungînd de la 130, la 277 de comunicări.

Este important de arătat că, la începerea Conferinței au fost puse la dispoziția participanților 5 volume și extrase cu lucrările primite pînă la începutul lunii iulie (80% din cele anunțate)*. Totalitatea volumelor de la cele 5 conferințe Tribotehnica (19 volume cu peste 1 100 comunicări) arată că s-a realizat în țară, pe această cale, o importantă bază documentară.

Participarea la actuala conferință *reflectă de altfel activitatea științifică din ultimii trei ani.* Astfel 15 unități de învățămînt superior au contribuit cu 156 lucrări, dintre care 72 ale Institutului Politehnic București; 18 unități de cercetare sau cercetare-proiectare aparținînd CSEN, MICM, MIUG, MIEt, MIChP, MIP etc. au participat cu 44 lucrări; 17 unități de producție aparținînd MIM, MICM, MIUG, MIChP, MIP etc. au participat cu 39 lucrări.

La Conferință au participat cu lucrări membri ai 16 din cele 24 de Comisii de Tribologie din țară; organizarea a fost asigurată de Comisiile de Tribologie județene din București, Prahova și Harghita.

La această Conferință au fost consemnate 275 de intervenții și participări la discuții și mai multe propuneri. Așa cum rezultă și din cele 5 volume, au fost puse la dispoziția specialiștilor din institute, industrie, laboratoare etc. soluții noi de calcul și proiectare, standuri și metode experimentale, aparatură de măsură etc., în toate ramurile construcțiilor de mașini, în care tribologia are un cuvînt de spus (construcția de mașini propriu-zisă, de la mecanica fină la industria grea, siderurgie, mașini agricole, transporturi, chimie și petrochimie). De asemenea, se va face și de această dată un breviar de probleme și soluții pentru a le trimite ministerelor, centralelor, marilor întreprinderi etc.

Conferința a prilejuit un larg schimb de experiență, o polarizare a specialiștilor, cunoașterea lor reciprocă, a potențialului și posibilităților de care dispunem, constituind și un mare stimulent pentru cadrele tinere.

---

* Editate prin grija Institutului de Petrol-Gaze Ploiești.

Scanned with OKEN Scanner

21

SIMPOZIONUL

Mașini-unelte și sisteme flexibile de prelucrare ICSITMU Titan'87

Ing. *Nicolae Guja*

Institutul de Cercetare Științifică și Inginerie Tehnologică pentru Mașini-Unelte București ICSITMU

Ca urmare a directivelor Congresului IX al P.C.R. și a indicațiilor tovarășului Nicolae Ceaușescu, la 5 iulie 1966 s-a înființat Institutul de Cercetare Științifică și Inginerie Tehnologică pentru Mașini-Unelte București prin fuzionarea unor grupe de cercetare și proiectare, din uzinele constructoare de mașini-unelte.

Experiența acumulată în cele două decenii de activitate desfășurată de institut permite abordarea unor probleme complexe de cercetare aplicativă, proiectare constructivă și tehnologică, execuție de prototipuri și microproducție pentru mașini-unelte așchietoare, universale și speciale, mașini agregat și linii de transfer, centre de prelucrare, roboți industriali, sisteme flexibile de mașini-unelte, mașini-unelte de prelucrat prin deformare presare, mașini de prelucrat mase plastice, elemente de completare, organe și subansamble specifice.

Proiectarea și producerea de mașini-unelte ține seamă de tendințele de dezvoltare pe plan mondial, folosind rezultatele cercetării proprii și acordînd o atenție deosebită integrării pe scară largă a informaticii în procesul de cercetare-proiectare-producție.

Complexitatea problemelor abordate și calitatea lucrărilor elaborate permit asimilarea unor mașini unelte și utilaje speciale pentru aproape toate domeniile economiei naționale, în prezent peste 80% din produsele menționate, executate în țară, făcîndu-se după proiecte elaborate la ICSITMU.

În rezolvarea sarcinilor ce rezultă din această paletă largă de probleme, ICSITMU colaborează cu institute de cercetare științifică și inginerie tehnologică din diferite domenii (electronică, electrotehnică, mecanică fină, scule, chimie etc.) cu institute de proiectări de întreprinderi, cît și cu institute de învățămînt superior din țară și cu institute de profil similar din țările socialiste.

Rezultatele principale ale acestor activități desfășurate în ultimii ani au fost prezentate în cadrul simpozionului, „MAȘINI-UNELTE ȘI SISTEME FLEXIBILE DE PRELUCRARE. Titan '87" simpozion cu par-

Scanned with OKEN Scanner

ticipare internațională, aflat în prezent la a IV-a ediție, ale cărui lucrări s-au desfășurat în cadrul institutului în zilele de 12—14 octombrie 1987.

Lucrările simpozionului au fost susținute în patru secțiuni:

I. Mașini-unelte, module pentru mecanizare, automatizare, linii automate, sisteme flexibile de prelucrare și aplicații ale roboților industriali.

II. Organe de mașini specifice, scule și tehnologii de prelucrare de mare productivitate, tehnologii de control activ și pe flux.

III. Elemente pentru acționări hidraulice și electrice specifice mașinilor-unelte și sistemelor flexibile.

IV. Cercetare teoretică și experimentală, proiectare asistată de calculator și produse program pentru sisteme flexibile de producție.

În cadrul secțiunii I au fost prezentate 60 comunicări ilustrînd stadiul atins în cercetarea și dezvoltarea sistemelor flexibile de prelucrare. Diversitatea problemelor expuse, atît de cercetători din ICSITMU București și filialele din țară, cît și din alte institute de cercetare și inginerie tehnologică din țară și de peste hotare, a scos în evidență importanța cercetărilor din acest domeniu pentru creșterea productivității muncii și necesitatea de a se dezvolta, în măsură și mai mare, colaborarea între unitățile de cercetare și întreprinderi.

Un număr de circa 70 lucrări prezentate în secțiunile II și III au subliniat volumul mare de probleme conexe ridicat de implementarea sistemelor flexibile și necesitatea de a se acorda o deosebită atenție dezvoltării producției orizontale legată de cerințele sistemelor flexibile, cerințe reprezentînd probleme de vîrf ale tehnicii moderne.

În secțiunea a IV-a au fost expuse aproximativ 50 lucrări, în care a fost tratată problematica teoretică complexă ilustrată de tematica secțiunilor.

Pe marginea referatelor prezentate, în toate secțiunile, s-au purtat discuții de un înalt nivel tehnic și științific, atestînd calitatea și profunzimea preocupărilor participanților.

La simpozion au participat, pe lîngă cercetători și specialiști din țară, cercetători și specialiști din U.R.S.S., Republica Populară Bulgaria, Republica Socialistă Cehoslovacă, Republica Populară Ungară, R. P. Polonă și R. Democrată Germană, cercetători care au expus comunicări ilustrate de filme prezentînd realizările obținute în țările respective în domeniul sistemelor flexibile și al producțiilor automatizate.

Nivelul științific ridicat al comunicărilor prezentate, numărul mare de specialiști prezenți la dezbateri, modul reușit de prezentare, precum și colaborarea strînsă între unitățile de cercetare și proiectare, unitățile de învățămînt superior și întreprinderile din țară, colaborare care reprezintă garanția aplicării cu succes în practică a rezultatelor muncii de cercetare științifică, toate acestea au fost scoase în evidență, la încheierea lucrărilor, de către dr. ing. Aurel Sandu, directorul general al Institutului Central pentru Industria Electrotehnică.

Lucrările prezentate în cadrul simpozionului vor apărea în două volume, aflate în curs de editare.

Scanned with OKEN Scanner

22

SIMPOZIONUL
Cercetări teoretice și experimentale privind perfecționarea utilajului petrolier

Prof. dr. doc. șt. *Dumitru Remus Mocanu*
Secretar științific al Comisiei Centrale de Tensometrie

În zilele de 2—3 octombrie 1987 a avut loc la Institutul de Petrol și Gaze din Ploiești, un simpozion cu tema: *Cercetări teoretice și experimentale privind utilajul petrolier*, organizat de Comisia Centrală de Tensometrie, Institutul de Petrol și Gaze și Institutul de Proiectări și Cercetări Utilaj Petrolier din Ploiești.

La simpozion au participat cadre didactice de la I.P.G.P., cercetători, proiectanți de la unitățile de cercetare și proiectare din sectorul petrolier, precum și cadre din conducerea unităților din acest sector. Au participat, de asemenea, membrii Comisiei Centrale de Tensometrie.

La ședința de deschidere au participat: Virgil Cazacu — prim secretar al Comitetului Județean Prahova al P.C.R., acad. Radu Voinea — președintele Academiei R.S.R. și președintele Comisiei Centrale de Tensometrie, prof. dr. ing. Dumitru Săndulescu — rectorul Institutului de Petrol și Gaze Ploiești

În cuvîntul de deschidere rostit de acad. Radu Voinea au fost subliniate problemele de mare importanță privind industria petrolieră care constituie un domeniu de bază al economiei noastre naționale, probleme care sînt în atenția cadrelor didactice de la I. P. G. Ploiești, a institutelor de proiectări și cercetări, precum și a uzinelor și combinatelor de specialitate. Dintre acestea se menționează: creșterea gradului de automatizare și mecanizare, perfecționarea comenzilor, extinderea acționărilor hidraulice, creșterea puterilor instalate și a vitezelor de lucru, utilizarea unor noi materiale ș.a.

În domeniul tehnologic, cercetările întreprinse de cadrele didactice de la I.P.G.P., privind sapele de foraj cu trei conuri urmăresc creșterea fiabilității, asigurată prin creșterea durabilității lagărelor și creșterea rezistenței la uzură a părții active.

Au fost subliniate, de asemenea, sarcinile de mare importanță ce revin cadrelor didactice și cercetătorilor prezenți la simpozion, privind sondele de mare diametru și sondele din platforma continentală a Mării Negre.

Scanned with OKEN Scanner

În încheiere, tov. acad. Radu Voinea a subliniat rolul important pe care îl are tensometria în cercetările experimentale. Pe baza datelor obținute prin analiza stărilor reale de tensiuni și deformații, s-au putut stabili dimensiuni optime pentru elementele de rezistență ce intră în alcătuirea construcțiilor petroliere.

Tovarășul Virgil Cazacu, în cuvîntul său, s-a referit la sarcinile ce revin cadrelor didactice și cercetărilor din sectorul petrolier în legătură cu ridicarea calității utilajului folosit în acest sector.

În cadrul simpozionului au fost prezentate un număr de 16 comunicări, dintre care 14 — elaborate de cadre didactice, cercetători și proiectanți din sectorul petrolier — au fost axate pe tematica simpozionului, iar ultimile 2 — elaborate de membrii C.C.T. — s-au referit la aparatura tensometrică și la celulele de forță, fabricate în R.S.R., utilizate în cercetările experimentale efectuate la utilajul petrolier.

În ziua a doua a simpozionului au avut loc dezbateri sistem „MASĂ ROTUNDĂ“ cu tema „Dezvoltarea în perspectivă a cercetărilor în domeniul petrolier“. Prin organizarea acestor dezbateri s-a urmărit realizarea unui consens al tuturor factorilor interesați privind: probleme de cercetat, asigurarea bazei materiale a cercetării și a fondurilor necesare căii optime de colaborare între învățămînt, cercetare și producție ș.a. În cadrul dezbaterilor au fost prezentate puncte de vedere și propuneri în legătură cu tematica, de către: cadre didactice de la Institutul de Petrol și Gaze Ploiești; conducerea Institutului de Proiectări și Cercetări Utilaj Petrolier din Ploiești; conducerea Întreprinderii „1 Mai“ Ploiești; conducerea Întreprinderii de Utilaj Petrolier Tîrgoviște; conducerea Institutul de Cercetări, Inginerie Tehnologică și Proiectare pentru Rafinării Ploiești; conducerea Combinatului Petrochim Brazi; conducerea Institutului de Cercetări și Proiectări pentru Petrol și Gaze Cîmpina și conducerea Întreprinderii de Foraj și Lucrări Geologice Speciale din București.

Participanții la „Masa rotundă“ au apreciat că dezbaterile ce au avut loc au fost interesante și utile. S-au făcut propuneri ca asemenea manifestări să aibă loc periodic.

În cadrul concluziilor, s-au făcut precizări de către cei care au luat cuvîntul, în sensul că simpozionul și-a atins scopul urmărit de organizatori. Manifestarea a făcut parte din acțiunile organizate de Comisia Centrală de Tensometrie în intervalele dintre SIMPOZIOANELE NAȚIONALE DE TENSOMETRIE cu participare internațională, care au loc la intervale de trei ani.

Comunicările prezentate în cadrul simpozionului au fost publicate în volum. Acesta poate fi procurat de la Comisia Centrală de Tensometrie.

Scanned with OKEN Scanner

23

SIMPOZIONUL

Procese și produse noi pentru combaterea coroziunii Piatra Neamț 23-25 septembrie 1987

Prof. dr. ing. *Alecsandru Pavel*
Institutul de Petrol și Gaze — Ploiești
Dr. chim. *Mihai V. Popa*
ICECHIM — Centrul de Chimie Fizică — București

Ținînd seama de stadiul atins în modernizarea bazei tehnico-materiale și de potențialul de cercetare de care se dispune în țara noastră, se prevede, pe ansamblul întregii economii, să se realizeze creșteri substanțiale ale gradului de valorificare a materiilor prime, reduceri importante ale consumurilor de materii și materiale, precum și îmbunătățirea nivelului tehnic și calitativ al produselor.

Pentru realizarea prevederilor de ridicare a nivelului tehnic și calitativ al produselor este necesară creșterea substanțială a aportului cercetării științifice. În cadrul acesteia, un rol important îl are studierea și combaterea coroziunii instalațiilor industriale, știut fiind că, prin reducerea coroziunii materialelor metalice și nemetalice, se aduce o contribuție valoroasă la reducerea cheltuielilor de producție, la reducerea investițiilor, la mărirea duratei de funcționare a instalațiilor și la o substanțială reducere a cheltuielilor de import.

Dezvoltarea intensă a industriei necesită cantități uriașe de materiale metalice și nemetalice, cum sînt: oțelurile, fontele, materialele plastice, betoanele, lemnul, sticla etc., în construirea de utilaje și diferite instalații. Aceste materiale vin în permanent contact cu mediul înconjurător (apa, aerul, solul sau diferite medii chimice) și suferă degradări în urma proceselor de coroziune. Aceste procese sînt influențate de diverși factori, cum sînt: temperatura, presiunea, tensiunea mecanică, tratamentul termic sau mecanic al materialului, eroziunea, radiațiile, timpul etc.

Activitatea de combatere a coroziunii a căpătat o deosebită importanță, determinată de pierderile mari provocate de procesele de coroziune, aceste pierderi fiind cu atît mai mari cu cît se referă la materiale prelucrate, aflate în exploatare — în cea mai mare parte — sub formă de utilaje, aparate, instrumente, construcții etc. La aceste pierderi directe de materiale, evaluate pe plan mondial la milioane de tone anual, trebuie adăugate și, de cele mai multe ori, cu valori mai mari, pierderile indi-

Scanned with OKEN Scanner

recte, cum sînt: impurificarea produselor industriale cu produși de coroziune, întreruperile proceselor de producție și altele. Aceste pierderi depășesc cheltuielile ce s-ar face prin măsuri de combatere a coroziunii, ca: selecții metalurgice, inhibitori de coroziune, protecții electrochimice, acoperiri metalice sau nemetalice ș.a. Pentru a cunoaște aceste măsuri de protecție anticorosivă, în prealabil trebuie cercetate cauzele și factorii care conduc la fenomenele de coroziune generală sau locală, acestea din urmă (coroziunea în pitting, coroziunea în crevasă, coroziunea intergranulară, coroziunea fisurantă, coroziunea selectivă) fiind dintre cele mai periculoase și necesitînd cercetări mai aprofundate.

Ținînd cont și de faptul că, în urma proceselor de coroziune, pot apărea nu numai degradări ale instalațiilor industriale, ci și avarii ale acestora, cu pierderi de vieți omenești, rezultă — ca un imperativ atît economic cît și social — necesitatea de a conserva, timp cît mai îndelungat, baza tehnico-materială a economiei unei țări și de a controla procesele de coroziune, pentru evitarea de accidente de producție. Cu alte cuvinte, este necesar a conserva și controla atît produsele muncii oamenilor cît și activitatea productivă a acestora, pentru a preveni implicațiile pe care le pot aduce procesele de degradare a materialelor, în urma coroziunii. Acțiunea de combatere a coroziunii se impune cu atît mai mult astăzi, cînd industria este în continuă dezvoltare și are nevoie de cantități din ce în ce mai mari de materiale metalice și nemetalice, iar rezervele sînt limitate.

Preocupați în permanență de probleme majore pe care le ridică coroziunea și implicațiile ei economice, specialiștii din acest domeniu s-au întîlnit, în perioada 23—25 septembrie, în cadrul celei de-a V-a Consfătuiri „Procese și produse noi pentru combaterea coroziunii", în care au fost abordate cele mai noi realizări — în acest domeniu — din țara noastră. Lucrările Consfătuirii, discuțiile ce au urmat pe marginea referatelor științifice sau a conferințelor plenare, au putut da un răspuns celor interesați în rezolvarea problemelor de coroziune și vor da posibilitatea încheierii unor posibile colaborări producător-proiectant-cercetător. În acest fel, cel interesant va putea ști la ce instituție sau colectiv să apeleze pentru rezolvarea problemelor de coroziune, rezolvare pe care cu toții o dorim, pe cît posibil, mai scurtă și, în orice caz, mai eficientă, știut fiind faptul că tot noi sîntem și producătorii și beneficiarii bunurilor pe care le creem și pe care le dorim a fi de bună calitate.

Cea de-a V-a Consfătuire s-a implicat, prin tematica sa, în studiul atît al fenomenelor de coroziune cît și al modalităților de combatere a acestora. Organizată de către ICECHIM — Centrul de Chimie Fizică — București și cu ajutorul Centrului de cercetări pentru fibre chimice — Săvinești, sub auspiciile Comisiei de Chimie Fizică — secția Chimie a Consiliului Național al Inginerilor și Tehnicienilor și a Comisiei Județene a Inginerilor și Tehnicienilor a Consiliului Județean al Sindicatelor — Neamț, Consfătuirea și-a structurat lucrările astfel:

— Conferințe plenare, susținute de către experți din învățîmîntul superior, specialiști în domeniul cercetării coroziunii și combaterii coroziunii;

Scanned with OKEN Scanner

— Două secții de comunicări științifice:

Secția I — „Procese de coroziune, aparatură și protecție electrochimică", în care s-au prezentat 21 de lucrări;

Secția a II-a — „Inhibitori de coroziune și acoperiri protectoare", în care s-au prezentat 20 de lucrări.

Lucrările respective fiind elaborate de specialiști în domeniu, atît din învățămîntul superior, cercetare și proiectare, cît și din unitățile industriale din București, Brașov, Iași, Cluj, Pitești, Ploiești, Cîmpina, Făgăraș, Timișoara și Craiova.

Conferințele plenare au privit tematicile:

— „Fracturarea asistată de mediu", susținută de prof. dr. doc. șt. O. Radovici, de la Institutul Politehnic — București;

— „Procese de electrod la dizolvarea anodică a metalelor", susținută de prof. dr. doc. șt. ing. S. Sternberg, de la Institutul Politehnic — București;

— „Măsuri de protecție anticorosive a rețelelor subterane, impuse de sistematizarea orașelor", expusă de prof. dr. ing. G. Moisil, de la Institutul Politehnic — București;

— „Conceptul de coroziune fisurantă în mecanica cedării componentelor de instalații tehnologice chimice și petrochimice", susținută de prof. dr. ing. A. Pavel, de la Institutul de Petrol și Gaze — Ploiești.

În sinteză, referatele Consfătuirii, desfășurate pe secții, sînt prezentate în cele ce urmează.

Secția I

Au fost susținute studii privind: procesele de coroziune a unor aliaje Pb—Sb și Pb—Ca, în soluții concentrate de acid sulfuric [8], cu aplicabilitate directă în producerea acumulatoarelor pe bază de Pb/H_2SO_4, procese de electrod la oxidarea electrochimică a acidului α-fenil propionic [37], lucrare de interes asupra metodelor de studiu folosite în cercetarea coroziunii — metoda potențiostatică și metoda potențiodinamică —, ca și studiul coroziunii oțelului carbon OL 37 în prezența unor derivați cuaternari de amoniu [30].

Coroziunea și pasivarea oțelului inoxidabil W.1.4306, în soluții de acid azotic 20%, 37% și 50% [9], s-a înscris tot în cadrul metodelor electrochimice de studiu a coroziunii metalice, folosind metoda potențiostatică și stabilind concentrația optimă și timpul cel mai adecvat pentru pasivarea oțelului inoxidabil, întrebuințat la fabricarea și confecționarea fitingurilor (coturi, teuri și racorduri) necesare în industria chimică.

Tot prin metoda potențiostatică, combinată cu cea gravimetrică, a fost studiată comportarea unor oțeluri inoxidabile austenitice — W.1.4541, W.1.4571, W.1.4301 — și a oțelului austenoferitic 8MoNiCr265 în procesul de fabricare a trigliceridelor sulfatate [4], lucrare de interes și cu aplicabilitate industrială imediată în selecția metalurgică a celui mai adecvat oțel ce se poate întrebuința în procesul industrial. Legat de această selecție metalurgică, criteriile de alegere a oțelurilor inoxidabile pentru construcția de utilaje din industria chimică au fost prezentate [5] în cadrul Consfătuirii, bucurîndu-se de un deosebit interes din partea participanților și creînd discuții active.

Scanned with OKEN Scanner

În același cadru al selecției metalurgice, una dintre metodele cele mai adecvate combaterii coroziunii, folosirea oțelurilor feritice în industria chimică [34] capătă, astăzi, un interes din ce în ce mai mare privind utilizarea lor atît de către proiectanții utilajelor industriale, cît și de către producătorii de bunuri materiale — beneficiarii din întreprinderile producătoare din industria chimică.

Comportarea la coroziune a sistemului Fe—Cu în soluție de BrLi, folosit la exploatarea pompelor de căldură [1], a implicat cercetarea sub aspectul stabilității chimice a noi sisteme metalice, în condiții similare, care ar putea fi utilizate ca elemente de construcție a pompelor de căldură, înlocuind materialele metalice neferoase (cuprul și aliajele Ni—Cu) scumpe, cu altele mai ieftine, fără a afecta exploatarea optimă a acestor agregate. În acest sens, au fost efectuate cercetări în sistemele deschise și închise, cu și fără inhibitori de coroziune și au fost prezentate posibilitățile de utilizare în producție.

Alături de studiile prezentate la Consfătuire, privind coroziunea oțelurilor inoxidabile și a oțelurilor carbon, de un interes deosebit au fost cele axate pe coroziunea titanului și a aliajelor sale în medii acide [10], a unor superaliaje de nichel în mediul de acid sulfuric [11] și a unor aliaje de zirconiu în abur la presiune înaltă și la temperaturi de 400—500°C [29] sau în apă contaminată cu ioni F^- [32].

Astfel, rezultatele studiilor electrochimice de polarizare liniară, potențiostatică și pierderea de metal la potențial controlat, au verificat efectul aluminiului asupra coroziunii aliajelor Ti—Mo în mediul acid (H_2SO_4 30%, HCl 10%, H_2CrO_4 10%) [10]. S-a conchis că, obținerea aliajelor Ti—Mo prin procedeul aluminotermiei, trebuie să țină seama de raportul Mo/Al.

Prin aceleași studii electrochimice, folosite în cercetarea aliajelor Ti—Mo, care s-au conlucrat cu metoda microscopiei electronice de baleiaj și cu analiza chimică a soluțiilor corosive (acizi reducători) prin spectrofotometrie de absorbție atomică, s-a studiat comportarea la coroziune a unor superaliaje pe bază de nichel (MSRR-7047 și NC-13ADbc) [12], obținîndu-se cele mai complete informații privind efectele alierii și tratamentelor termice asupra gradului și formei de atac corosiv a materialelor metalice.

Coroziunea nodulară a unor aliaje, care este influențată de o serie de factori ce depind fie de material, fie de mediul de testare, a fost studiată pe aliajele Zircalloy 2 și 4, la presiune și temperatură ridicată (400 . . . 500°C) [29], putîndu-se preciza cîteva din cauzele apariției atacului nodular ca și unele metode de îmbunătățire a rezistenței aliajelor de zirconiu la acest tip de atac localizat. Tot pe aceste aliaje de zirconiu, s-a studiat [32], electrochimic, influența *p*H-ului apei, ajustat cu LiOH (*p*H=10,0 . . . 13,5), la presiune și temperatură normală și la 360°C și 180 bar. Studiul a arătat că depășirea concentrației critice de 1 g/l LiOH a condus la coroziunea accelerată a acestor aliaje. Contaminarea superficială cu ioni F^- (1 mg F^-/l), a condus, în cadrul aliajelor de zirconiu, la o comportare similară — la coroziune — cu cele testate în apă demineralizată, în timp ce soluțiile cu 10 mg F^-/l au condus la o coroziune accelerată a acestor aliaje.

Lucrările Consfătuirii au cuprins referate, de un interes deosebit, atît asupra coroziunii și selecției metalurgice pentru utilaje din industria petrochimică [23, 25, 15] cît și asupra proceselor de coroziune a elementelor de beton armat expuse în mediu marin [39]. A fost, astfel, studiată, timp de 5 ani [23], coroziunea unor oțeluri carbon folosite la vase de separare, conducte, oțeluri slab aliate cu 9% Cr și 1% Mo, oțeluri inoxidabile feritice și austenitice în instalații de cracare catalitică și hidrofinare de benzină ș.a. În procesul de cracare catalitică s-au propus [25] măsuri pentru eliminarea corosivității prin evitarea recirculării apei uzate și uscarea fluxului de gaze comprimate C_3—C_4, iar în instalațiile de izopropilbenzen s-a indicat [15] folosirea de inhibitori de coroziune pentru combaterea coroziunii acestor instalații. În cazul betonului armat, expus în mediu marin [39], s-a arătat că partea cea mai vulnerabilă o constituie armătura din beton, datorită conținutului foarte ridicat de cloruri din apa de mare. Viteza de penetrare a clorurii în porii betonului este amplificată în cazul circulației aerului, accelerînd astfel procesele de coroziune a armăturii de oțel.

Pentru rezolvarea multor probleme practice privind alegerea utilajelor rezistente la coroziune, înlocuirea unui metal scump și deficitar etc., este necesar să se determine rezistența diferitelor metale la coroziune. În numeroase cazuri, distrugerea nu este provocată prin variația greutății metalului corodat, ci prin schimbarea caracteristicilor care conduc la micșorarea bruscă a rezistenței mecanice. În practică, există un mare și variat număr de metode de încercare și măsurare a rezistenței anticorosive. S-a insistat, astfel, în cadrul lucrărilor Consfătuirii [31] că, la alegerea metodei, este necesar să se țină seama de o serie de recomandări cu privire la controlul riguros al tuturor factorilor ce acționează asupra procesului de coroziune și la reproducerea cît mai fidelă a condițiilor reale de exploatare a metalului încercat.

Un deosebit interes, în cadrul lucrărilor prezentate în Secția I, l-au suscitat metodele electrochimice de protecție contra coroziunii. S-au prezentat, astfel, condițiile de aplicare a protecției anodice [12] pentru schimbătoarele de căldură din industria acidului sulfuric, confecționate din oțelurile inoxidabile W.1.4435 și W.1.4306, precum și pentru oțelul carbon, care este materialul de construcție de bază al rezervoarelor de acid sulfuric.

S-au prezentat, de asemenea, considerații privind aplicarea protecției catodice în incinte industriale [16] și ca o metodă deosebit de eficientă în combaterea coroziunii conductelor metalice subterane [25], fie prin drenaj al curenților de dispersie, fie prin injecție de curent sau cu ajutorul anozilor de sacrificiu. Protecția catodică are o aplicabilitate eficientă și în combaterea coroziunii conductelor submarine [26], după cum s-a prezentat în cadrul lucrărilor Consfătuirii, pentru transportul țițeiului și al gazelor de la platformele de extracție la țărm sau pentru legături tehnologice între platforme.

Secția a II-a

S-au expus lucrări referitoare la utilizarea unor inhibitori de coroziune pentru tratarea apelor de răcire [22] și a generatoarelor de abur [6], precum și la utilizarea acestora pentru soluții de înlăturare a poleiului [19]

Scanned with OKEN Scanner

și de preparare a betoanelor [40] sau pentru combaterea coroziunii tuburilor de foraj din industria extractivă de țiței și gaze [33].

Pentru tratarea apelor de răcire și din instalațiile termoenergetice, s-a prezentat [22] gama de inhibitori ICAR, fabricați de Întreprinderea Chimică Victoria — Tîrgoviște, care au fost testați în laborator prin metoda gravimetrică și potențiostatică, în vederea stabilirii eficienței anticorosive.

Tehnologia de curățare chimică a generatoarelor de abur [6] se bazează pe utilizarea unor inhibitori românești, aplicabilă cu bune rezultate la nivel de instalații industriale. Pentru înlăturarea poleiului și asigurarea exploatării autovehiculelor iarna [19], s-au testat soluții antigel aditivate cu sisteme de inhibitori de coroziune. Coroziunea armăturilor de oțel din betoane [40] a fost redusă prin adăugarea unui amestec de inhibitori de coroziune pe bază de săruri anorganice, în apa de amestecare a betonului.

Combaterea coroziunii oțelurilor din care sînt confecționate tuburile de foraj la sondele extractive de țiței și gaze s-a realizat cu ajutorul inhibitorilor de tip ACOR, EPACOR și ACORAMID, sintetizați de I.C.P.P.G. — Cîmpina și testați în laborator de ICECHIM — Centrul de Chimie Fizică — București. În urma colaborării între cele două grupe de cercetare [33], o parte din acești inhibitori se aplică — cu o bună eficiență — în combaterea coroziunii oțelurilor speciale, din care sînt confecționate tuburile de foraj, sub acțiunea apelor de zăcămînt care conțin hidrogen sulfurat și/sau bioxid de carbon.

În domeniul protecției anticorosive a conductelor marine, s-a subliniat rezolvarea problemelor anti-fouling prin procedeul de impregnare a stratului de izolație a conductelor cu naftenat de cupru [14].

Au fost prezentate, de asemenea, noutăți în domeniul unor procedee moderne de acoperiri metalice pentru galvanizare și circuite imprimate [17]. În același domeniu, s-a realizat efectuarea unor depuneri electrochimice anticorosive de aliaj Sn—Pb, cu înalte proprietăți anticorosive și de sudabilitate [24], pentru componentele din industria electronică și electrotehnică. Alt tip de depuneri [3] vizează acoperirile de aliaje Ni—Zn cu structură columnară, de mare performanță catalitică.

În domeniul tehnologiei de cromare electrolitică, mare consumatoare de materii prime și energie electrică, au fost prezentate [2] unele posibilități de micșorare a acestor consumuri și de reducere a costului pe unitatea de suprafață acoperită. De asemenea, s-au pus în evidență sisteme de protecție anticorosivă a aliajelor de aluminiu [36], cu rol de antiuzură și rezistente la șoc termic. Această protecție se realizează prin pelicule anodice cu conținut de bor și titan.

În scopul înlocuirii acoperirilor de cadmiu, aplicate la piese și subansamble din industria construcțiilor de mașini, au fost realizate [18] protecții prin zincare cu pasivare, de unde a rezultat o creștere a fiabilității și competivității produselor.

La secția a II-a s-au mai prezentat noutăți în domeniul acoperirilor protectoare pe bază de cauciucuri și ebonite indigene [41], comparativ cu cauciucul natural, testate în medii acide, bazice și neutre (ape de răcire, apă de mare și apă de canal). De asemenea, au fost prezentate noi sis-

Scanned with OKEN Scanner

teme de protecție peliculare pe bază de polietilenă sulfoclorurată reticulată cu aducți amidoepoxidici [35].

În domeniul acoperirilor pe bază de emailuri, a fost prezentat un email anorganic vitros [28], rezistent în prezența impurităților de acid fluorhidric, precum și emailuri cu caracteristici chimice și termice superioare [21].

Un interes deosebit a suscitat prezentarea unui studiu elipsometric al filmelor de polimetacrilat de metil depuse pe oțel, nichel și cupru [20].

De mare interes s-a dovedit domeniul care a cuprins cercetările legate de acoperirile anticorosive obținute prin pulverizarea termică a bazaltului [13]. Se realizează, prin această metodă, protecția împotriva corosivității unor medii chimice agresive. Din același domeniu face parte și obținerea de piese mici și mijlocii, cu configurații complexe, prin sinterizarea pulberii de bazalt [38]. Se deschide, astfel, un cîmp larg utilizării bazaltului ca înlocuitor al metalelor care lucrează în medii puternic corosive.

La închiderea lucrărilor Consfătuirii, președintele secției de chimie a C.N.I.T., prof. ing. A. Constantinescu, a subliniat importanța și succesul lucrărilor prezentate, indicînd necesitatea ca acest tip de consfătuiri — pe probleme de coroziune — să se facă periodic, o dată la 2 ani. După cum au subliniat și alți participanți la Consfătuire, se dorește:

— participarea mai largă a unor specialiști din Ministerul Industriei Chimice și Petrochimice, cît și din centralele industriale ale acestui minister;

— elaborarea unui nomenclator de produse anticorosive (inhibitori, emailuri, chituri etc.) de către Comisia de chimie fizică a secției chimie din cadrul C.N.I.T. și de către Comisia de coroziune a ministerului antecitat;

— elaborarea unor fișe privind pierderile prin coroziune din industrie, sub coordonarea Ministerului Industriei Chimice și Petrochimice — Direcția tehnică și a Centralelor Industriale;

— reînființarea Comisiei de Coroziune a Academiei R.S.R., în cadrul căreia să se prezinte comunicări științifice privind coroziunea și combaterea coroziunii materialelor metalice și nemetalice, sistemelor tehnologice și tehnice etc.;

— participarea mai largă a specialiștilor din cercetare și industrie la cursurile post-universitare de „Coroziune și combaterea coroziunii", din cadrul Institutului Politehnic — București și de „Coroziune și protecție anticorosivă", din cadrul Institutului de Petrol și Gaze — Ploiești;

— publicarea lucrărilor Consfătuirii în „Revista de chimie" sau în „Buletinul de Informare Tehnico-Documentară-Coroziune", editat de Oficiul de Informare și Documentare — ICECHIM—București.

Pe baza experienței acumulate la actuala Consfătuire și mulțumită bunei organizări, asigurate de către organele locale de partid și sindicat din Piatra Neamț, împreună cu Comitetul de organizare al acestei Consfătuiri, s-a hotărît ca cea de-a VI-a Consfătuire pe probleme de coroziune și combaterea coroziunii să aibă loc tot la Piatra Neamț, în anul 1989.

Scanned with OKEN Scanner

1. APOSTOLESCU, MARIA, IVĂȘCANU, ST. și BRANDRABUR, FL. *Cercetări privind coroziunea sistemului* Fe-LiBr. Institutul Politehnic — Iași.
2. BRANDABUR, FL., IVĂȘCANU, ST. și APOSTOLESCU, MARIA. *Unele posibilități de micșorare a consumurilor specifice de materiale și energie electrică la electrodepunerea cromului.* Institutul Politehnic — Iași.
3. BAY, EMILIA și AVRAM, I. *Depuneri funcționale de aliaje Ni-Zn cu rol catalitic.* I.C.T.C.M. — București.
4. BEIZADEA, GH., IOACHIMESCU, OANA, POPA, CAMELIA*, KRUTSCH, GEORGETA**, SZEKELY, GH.** și MATU, S.** *Cercetări privind rezistența la coroziune a unor oțeluri inoxidabile în procesul de fabricare a trigliceridelor sulfatate.* ICECHIM — Centrul de Chimie Fizică — București, *ICECHIM — Secția Detergenți — București și **ICECHIM — Detergenți — Timișoara.
5. BEJAN, FL. și BANU, ALEXANDRA. *Criterii de alegere ale oțelurilor inoxidabile pentru construcția de utilaje în industria chimică.* ICECHIM — București.
6. BERINDEANU, G. și STOICAN, DANIELA-PAULA. *Tehnologie de curățare chimică a generatoarelor de abur pe bază de inhibitor de coroziune și bifluorură de amoniu din țară.* C.C.Ch — Craiova.
7. BRÎNZOI, V. și APĂTEANU, LILIANA. *Coroziunea și combaterea coroziunii unor oțeluri în medii de acid clorhidric.* Institutul Politehnic — București.
8. BRÎNZOI, V., ȘTERNBERG, S. și APĂTEANU, LILIANA. *Comportarea la polarizare a aliajelor Pb-Sb și Pb-Ca în soluții concentrate de acid sulfuric.* Institutul Politehnic — București.
9. CIMPOERU, CRISTINA, POPA, M. V. și SCHMIDT, LUCREȚIA*. *Coroziunea oțelului inoxidabil W.1.4306 în mediu de acid azotic.* ICECHIM — Centrul de Chimie Fizică — București și *C.C.P.A.L.V. — Punct de Cercetare I.U.C. — Făgăraș.
10. CIOLAC, SULTANA, VASILESCU, ECATERINA, MORCAN, GH.* *Coroziunea titanului și aliajelor sale în medii acide.* ICECHIM — Centrul de Chimie Fizică — București și *I.A.M.N. — București.
11. CIOLAC, SULTANA, DROB, PAULA, ROMAN, I.*, NIȚĂ, P*. *Coroziunea unor superaliaje de nichel în mediu de acid sulfuric.* ICECHIM — Centrul de Chimie Fizică — București și *I.M.R.A. — București.
12. COJOCARU, VICTORIA, DĂSCĂLESCU, VIRGINIA, BEIZADEA, GH. și RADOVICI O.* *Posibilități de aplicare a protecției anodice la instalațiile din industria acidului sulfuric. ICECHIM* — Centrul de Chimie Fizică — București și *Institutul Politehnic — București.
13. CRĂCIUN, D. *Acoperiri anticorosive prin pulverizare termică.* Întreprinderea Lianți — Brașov.
14. DUMITRESCU, M. Z. *Sisteme de protecție anti-fouling.* I.C.P.P.G. — Cîmpina.
15. GEORGESCU, O., STOICA, MARIA, HOGEA, I. și DRĂGAN, VALERIA. *Protecția anticorosivă la instalația de izopropilbenzen.* C.P. — Brazi..
16. GHIRCOIAȘ, T. *Considerații privind aplicarea protecției catodice în incinte industriale.* Institutul Proiect — București.
17. GRÜNWALD, E. *Procedee moderne de acoperiri metalice folosite în galvanizare și circuite imprimate.* I.E.I.A. — Cluj-Napoca.
18. HARPĂU, GABRIELA și BLIDARIU, MARIOARA. *Protecții anticorosive în condiții severe de exploatare în scopul înlocuirii acoperirilor de cadmiu.* I.C.T.C.M. — București.
19. IOACHIMESCU, OANA și COJOCARU, VICTORIA. *Inhibitori de coroziune pentru soluții de înlăturare a poleiului și asigurarea exploatării autovehiculelor iarna.* ICECHIM — Centrul de Chimie Fizică — București.
20. JITEANU, S. *Studiul elipsometric al filmelor de polimeri depuse pe metal.* Institutul de Învățămînt Superior — Hunedoara.
21. JITIANU, GEORGETA, BĂRBULESCU, EVA, ZAHARESCU, MARIA, PĂSCUȚ, MELANIA* și DAN, E.* *Emailuri cu caracteristici chimice și termice superioare destinate protecției utilajelor confecționate din oțel.* ICECHIM — Centrul de Chimie Fizică — București și *C.C.P.A.L.V. — Punct de Cercetare I.U.C. — Făgăraș.

Scanned with OKEN Scanner

22. LAZĂR, I., CALOTĂ, ELISABETA şi PLUTEANU, VIRGINICA. *Eficienţa inhibitorilor ICARIN în tratamentul de condiţionare a apelor de răcire.* I.C.I.T.P.R. — Ploieşti.
23. LUDOŞAN, EUGENIA, CIMPOERU CRISTINA şi RADOVICI, O.* *Aspecte privind coroziunea utilajelor din industria petrochimică.* ICECHIM — Centrul de Chimie Fizică — Bucureşti şi *Institutul Politehnic — Bucureşti.
24. MARINESCU, ANTOANETA, SACHIAN, A., BLIDARIU, MARIOARA şi DINESCU, MARIA. *Cercetări pentru realizarea unor depuneri electrochimice anticorosive de aliaj Sn-Pb cu sudabilitate ridicată pentru componente electronice.* I.C.T.C.M. — Bucureşti.
25. MASALSKY, TATIANA, GOIDEA, D., IORDACHE, G., TOPOLOGEANU, ALINA şi STĂNICĂ, D. *Unele aspecte ale coroziunii în instalaţiile de cracare catalitică.* I.C.I.T.P.R. — Ploieşti.
26. NICULESCU, I., MARIN, N. şi DUMITRESCU, M. Z. *Exploatarea protecţiei catodice a conductelor submarine.* I.C.P.P.G. — Cîmpina.
27. NICULESCU, I., MARIN, N. şi DUMITRESCU, M. Z. *Metode de combatere a influenţelor corosive ale protecţiei catodice a conductelor şi reţelelor de conducte asupra altor structuri îngropate.* I.C.P.P.G. — Cîmpina.
28. PĂSCUŢ, MELANIA şi SCHMIDT, LUCREŢIA. *Coroziunea protecţiei cu email anorganic vitros în condiţiile prezenţei acidului fluorhidric.* C.C.P.A.L.V. — Punct de Cercetare I.U.C. — Făgăraş.
29. PÎRVAN, IOANA şi RĂDULESCU, MARIA *Testarea comportării la coroziune nodulară a aliajelor de zirconiu în abur la presiune înaltă în domeniul de temperatură 400 . . . 500°C.* I.R.N.E. — Piteşti.
30. RADOVICI, O., POPESCU, BELARISA şi ILIUŢĂ, I. *Comportarea la coroziune a oţelului în prezenţa unor derivaţi cuaternari de amoniu.* Institutul Politehnic — Bucureşti.
31. RĂDĂUCEANU, D., RUSU, G. şi PREOTU, A. *Metode şi aparatură pentru determinarea rezistenţei metalelor la coroziune.* I.I.T.P.I.C. — filiala Iaşi.
32. RĂDULESCU, MARIA şi PÎRVAN, IOANA. *Influenţa pH-ului apei şi a contaminării cu ioni F^- asupra comportării la caroziune a aliajelor de zirconiu.* I.R.N.E. — Piteşti.
33. ROMAN, E., POPA, M. V. şi CRĂCIUN, C* *Coroziunea şi combaterea coroziunii unor oţeluri speciale în ape de sondă.* ICECHIM — Centrul de Chimie Fizică — Bucureşti şi *I.C.P.P.G. — Cîmpina.
34. ROTARU, FLORICA. *Oţeluri feritice folosite în industria chimică.* I.I.T.P.I.C. — Bucureşti.
35. REY, MARIA SANDA şi STOICESCU, MARIANA. *Protecţii peliculogene pe bază de polietilenă sulfoclorurată reticulată cu aducţi amidoepoxidici.* C.C.P.A.L.V. — Bucureşti.
36. SACHIAN, A., DINESCU, MARIA şi BOBOC, GH. *Protecţia anticorosivă a aliajelor de aluminiu cu rol antiuzură şi rezistenţă la şoc termic prin pelicule anodice cu conţinut de bor şi titan.* I.C.T.C.M. — Bucureşti.
37. STERNBERG, S., ROŞCA. S., UNGUREANU, MIHAELA şi CRAIŢER, D. *Procese de electrod la oxidarea electrochimică a acidului α-fenil propionic.* Institutul Politehnic — Bucureşti.
38. SZABO, A., DUŢU, GH. şi VULPE, D. *Produse din bazalt.* Întreprinderea Lianţi — Braşov.
39. TAFLAN, FLORICA şi TEODORESCU, D. *Procese de coroziune în elemente de beton armat expuse în mediu marin.* INCERC — Bucureşti.
40. TEODORESCU, D. şi TAFLAN, FLORICA. *Măsuri de protecţie a armăturilor din elemente de beton armat prin utilizarea inhibitorilor de coroziune.* INCERC — Bucureşti.
41. VASILESCU, ECATERINA, DROB, PAULA, STRETCU, MARIA şi RADOVICI O.* *Rezistenţa chimică în diverse medii corosive a unor protecţii realizate din noi tipuri de cauciucuri indigene.* ICECHIM — Centrul de Chimie Fizică — Bucureşti şi *Institutul Politehnic — Bucureşti.

Scanned with OKEN Scanner

24

SESIUNEA DE COMUNICĂRI ȘTIINȚIFICE

Tendințe și noutăți în domeniul motoarelor termice-SIM'87

Prof. dr. ing. *Nicolae Apostolescu*
Conf. dr. ing. *Gheorghe Zătreanu*
Institutul Politehnic București

Sesiunea de comunicări științifice „Tendințe și noutăți în domeniul motoarelor termice" — SIM '87 a fost organizată de Institutul Politehnic din București, împreună cu Institutul Național de Motoare Termice, în zilele de 23—24 octombrie 1987.

Dedicată Conferinței Naționale a Partidului Comunist Român, sesiunea a reunit 150 specialiști din domeniile învățământului superior, cercetării-proiectării și fabricației motoarelor cu ardere internă cu piston și turbinelor cu gaze, care au analizat și dezbătut 74 lucrări.

Lucrările s-au desfășurat în 12 secții, dintre care patru secții (P1, P2, P3 și P4) au abordat studiul teoretic și experimental al proceselor funcționale din motoarele cu piston, patru secții (C1, C2, EJ și Th) s-au referit la calculul dinamic și de rezistență, echipamentele de injecție și tehnologia de fabricație a motoarelor cu piston, două secții (PD1 și PD2) au fost subordonate perspectivelor de dezvoltare a motoarelor cu piston și cîte o secție s-a constituit pentru problemele actuale ale turbinelor cu gaze (T) și pentru tehnicile experimentale (TE) ale motoarelor termice.

Secția P1 — *Mișcarea aerului* — a programat 6 lucrări, în care s-au tratat calculul mișcării organizate a aerului dintr-o cameră de vîrtej și o cameră toroidală, modelări electrice și cu automate celulare ale curgerii din cilindru, condiția de optimizare a mișcării de rotație a gazelor din cilindru la un motor diesel și studiul experimental al influenței geometriei canalului și supapei de admisiune asupra raportului de vîrtej din camera de ardere.

În secția P2 — *Calculul proceselor funcționale* — s-au prezentat 7 comunicări, consacrate veridicității evaluării unui ciclu real de funcționare, stabilirii mecanismului de reacție pentru studiul formării emisiilor poluante, uniformizării amestecului și economicității motoarelor cu aprindere prin scînteie, schimbării gazelor la motoare diesel navale în doi timpi, calculului unui motor cu raport de comprimare variabil, supraalimentării unui motor diesel cu cameră de vîrtej.

Secția P3 — *Transferul de căldură în motoare* — a reunit 5 lucrări, dintre care două au studiat teoretic și experimental eficiența răcirii inter-

Scanned with OKEN Scanner

mediare la motoare supraalimentate, altă lucrare s-a referit la optimizarea schimbătoarelor de căldură pentru răcirea aerului de supraalimentare, o lucrare a prezentat o analiză exergetică a sistemului de schimbătoare de căldură pentru motoare navale, iar ultima lucrare s-a ocupat de transferul de căldură prin medii poroase, traversate ciclic-alternativ de fluidul motor.

În secția P4 — *Combustibili, lubrifianți* — au fost comunicate 6 lucrări, privind combustibilii neconvenționali pentru motoare (adaptarea unui motor cu aprindere prin scînteie la funcționarea cu amestec benzină-hidrogen; utilizarea metanolului la motoare diesel prin metoda injecției duble; propagarea flăcării laminare în combustibili gazoși puri și în amestec), testarea combustibililor grei, interdependența lubrifiant-combustibil-motor diesel și optimizarea funcțională a motorului L-25 alimentat cu benzină neetilată.

În secțiile C1 și C2 — *Construcția și calculul motoarelor* — s-au prezentat rezultatele unor cercetări cu privire la solicitările bielei și optimizarea formei sale constructive, echiparea cu pistoane cu umeri de turbulență a motoarelor care folosesc combustibil greu, concepția sistemelor de răcire ale motoarelor de autovehicule, studii asupra vibrațiilor motoarelor navale, o teorie unitară a echilibrajului motoarelor în V și soluții de echilibraj în varianta cu ambielaj articulat, mecanism de distribuție adaptivă pentru motorul 810-99.

Secția EJ — *Echipamente de injecție* — a reunit lucrări consacrate injecției de înaltă presiune la motorul diesel de tracțiune grea, corelarea aparaturii de injecție cu parametrii energetici ai motorului diesel cu injecție directă supraalimentat, experimentarea sistemului de injecție destinat generatorului de gaz inert, dezvoltarea unui injector de hidrogen și a unui injector de benzină pentru motoarele cu aprindere prin scînteie.

În secția Th — *Tehnologia fabricației motoarelor* — au fost susținute 4 comunicări: metodă numerică de alegere a regimului de așchiere la fabricația motoarelor termice, instalație de încălzire a șuruburilor de chiulasă pentru motoarele diesel, fonte cu grafit vermicular (compact) și grafit nodular (bainitică).

Secțiile PD1 și PD2 au tratat probleme de dezvoltare și perspectivă ale motoarelor. Lucrările prezentate s-au referit la: motoare cu ardere externă Stirling (instalații automatizate de control al temperaturii fluidului de lucru și al puterii, sistem de aprindere electronică); perspectivele fabricației de motoare diesel la Întreprinderea 23 August din București; realizarea unor instalații de precizie pentru supravegherea turației motoarelor și reducerea consumului de combustibil al motoarelor funcționînd după principiul diesel — gaz; dezvoltarea echipamentelor de pornire a motoarelor la temperaturi foarte joase: dezvoltarea schimbătoarelor (calculul fluxului termic în zona petei calde, ameliorarea caracteristicii de dozaj a carburatorului DCD-36/42; studiul schemei funcționale a regulatorului mecanic Woodward PGAV; metodologie de determinare a performanțelor radiatoarelor de apă tipizate pentru motoarele din licența MTU.

În secția T — *Turbomotoare* — s-au prezentat 8 comunicări, care au tratat probleme de dinamică a gazelor (modelarea curgerii transonice în ajutaj Laval și a curgerii spațiale din treapta unei turbine axiale), dezvoltarea sistemelor de propulsie (sisteme cu geometrie variabilă economice,

Scanned with OKEN Scanner

motoare turboreactoare triplu-flux, îmbunătățirea proprietăților dinamice ale turbomotoarelor), calculul de rezistență al structurii statorice.

În secția TE — *Tehnici experimentale* — au fost susținute lucrări de prezentare a unor noi tipuri de traductoare (pentru măsurarea vitezei instantanee și a intervalelor unghiulare la arbori în rotație, măsurarea vitezei fluidelor prin efect Mossbauer și a presiunii etc.), a unor sisteme de achiziție a datelor în anemometrie cu laser și de ridicare a caracteristicii de avans la declanșarea scînteii electrice, a dezvoltării standurilor pentru încărcarea pompelor de ulei și apă.

Scanned with OKEN Scanner

25

A IX-a conferință internațională de cercetări ale proceselor de producție

Ioan D. Marinescu
Institutul Politehnic București
Membru al Comitetului de Conducere IFPR

Continuînd tradiția începută în anul 1971, cînd la Birmingham a avut loc prima Conferință Internațională de Cercetări în Producție, în luna august 1987, s-a desfășurat la Universitatea Cincinnati, Ohio (S.U.A.), cea de-a IX-a ediție a acestei conferințe.

Conferința are loc din 2 în 2 ani în diverse centre industriale importante cum ar fi: Copenhaga 1973 (Danemarca), Amherest 1975 (S.U.A.), Tokio 1977 (Japonia), Amsterdam 1979 (Olanda), Novi Sad 1981 (R. S. F. Jugoslavia), Windsor 1983 (Canada), Stuttgart 1985 (R.F.G.), Cincinnati 1987 (S.U.A.).

Următoarea conferință va avea loc la Universitatea din Nottingam (Anglia) în luna august 1989 (17—20).

Organizatorul acestor conferințe este Fundația Internațională de Cercetări ale Proceselor de Producție (International Foundation for Production Research — I.F.P.R.), organizație științifică internațională în domeniul cercetării proceselor de producție care, prin caracterul ei pur științific, este înregistrată la UNESCO (are un comitet de conducere alcătuit din 25 membri permanenți din 20 de țări cu drept de vot și un comitet executiv compus din 5 membri).

Conferința Internațională de Cercetări ale Proceselor de Producție (I.C.P.R.) Cincinnati '87, la care au participat peste 500 de specialiști, a fost organizată pe mai multe secții, care reprezintă de fapt principalele direcții de cercetare în domeniul proceselor de producție:

— Noi Tehnologii;
— Tehnologii de grup și fluxuri tehnologice;
— Controlul producției și tehnologii CAD/CAP/CAM;
— Automatizarea proceselor de producție și roboți industriali;
— Sisteme efective de producție;
— Organizare, autoconducere și participare;
— Prognoza muncii.

După cum se observă, paleta domeniilor abordate este deosebit de întinsă, lucru care face ca participarea la această conferință să fie numeroasă, făcînd parte din categoria conferințelor generale și nu super specializate, așa cum este tendința actuală.

Scanned with OKEN Scanner

Este greu de făcut o selecție sau o evidențiere a unor lucrări deoarece în cadrul conferinței au fost prezentate peste 300 de lucrări în domeniile mai sus enumerate. Poate fi, însă, evidențiat faptul că la ultimele patru ediții ale acestei conferințe au fost prezentate lucrări elaborate de specialiști din țara noastră în domeniul tehnologiilor de prelucrare, automatizarea proceselor de producție și tehnologii cu materiale extradure.

În cadrul conferinței ICPR '87 a avut loc și o masă rotundă de probleme de sisteme flexibile și roboți industriali. Aceasta este legată de faptul că în timpul celor 4 zile cît a durat conferința a fost vizitat centru industrial Cincinnati, care este recunoscut, atît în S.U.A. cît și în lume, ca unul din cele mai puternice în domeniul mașinilor-unelte și, respectiv, sisteme flexibile și roboți industriali.

Lucrările conferinței ICPR '87 au fost publicate de către editura ELSEVIER (editorul oficial al IFPR), iar o parte din lucrări (cele mai interesante) vor apărea în revista organizației (International Journal of Production Research) publicată în Anglia.

Scanned with OKEN Scanner

26

Scurte informaţii tehnice*

Oleg Crămărescu

• Două firme din Australia şi R.F.G. au elaborat o nouă metodă de eliminare a tensiunilor interne din piesele metalice, indiferent de dimensiunea lor: vibraţii de o anumită frecvenţă se aplică piesei înainte şi după prelucrarea mecanică. Astfel se elimină tratamentul termic şi, prin aceasta, se realizează economii mari de energie (Znanie-Sila, U.R.S.S., nr. 9, 1987).

• În U.R.S.S. s-a elaborat o metodă de determinare a vitezei de creştere a fisurilor de oboseală bazată pe înregistrarea zgomotului făcut de fisură, care se află în banda acustică, însă este foarte slab şi necesită amplificare (Znanie-Sila, U.R.S.S., nr. 9, 1987).

• În R.D.G. s-a elaborat un nou tip de oţel, care este mult mai rezistent la coroziune decît oţelurile cunoscute în prezent. Pe suprafaţa lui se formează un strat protector de oxizi, eliminîndu-se complet necesitatea protejării împotriva mediilor agresive (Znanie-Sila, U.R.S.S., nr. 9, 1987).

• La prelucrarea metalelor cu laserul, în acestea se produc oscilaţii termice cu frecvenţe de la fracţiuni pînă la zeci de mii de hertzi. Acestea sînt generate prin interacţiunea zonelor încălzite ale metalului cu norul de vapori metalici, în care apar unde acustice lente. Datorită acestui fenomen se produce o mare risipă de energie. În prezent se fac cercetări pentru remedierea acestei situaţii şi economisirea energiei (Znanie-Sila, U.R.S.S., nr. 10, 1987).

• În Franţa s-a introdus sistemul de control acustic al integrităţii sculelor utilizate la maşini-unelte. Pe batiu se montează un traductor special, acordat pe semnalul corespunzător regimului normal de prelucrare. La ruperea sculei se modifică caracterul semnalului şi se dă comanda pentru oprirea maşinii-unelte în cîteva milisecunde (Znanie-Sila, U.R.S.S., nr. 10, 1987).

• În U.R.S.S. s-a construit tractorul de sudare TS-44, care poate suda table cu grosimea de 6 . . . 20 mm. Cu o mică adaptare, poate suda, prin mai multe treceri, plăci cu grosimea de 60 mm şi este, deci, indicat pentru construcţii navale. Se folosesc motoare de curent continuu pentru reglarea lină a parametrilor sudării. S-a elaborat de asemenea un flux special, care asigură stabilitatea arderii arcului, o bună calitate a cusă-

* Grupaj de informaţii tehnice realizat prin traduceri selectate şi prelucrate din diferite reviste de Oleg Crămărescu.

Scanned with OKEN Scanner

turii și stabilitate la formarea porilor și fisurilor (Znanie-Sila, U.R.S.S., nr. 10, 1987).

• În R.S.C. s-a elaborat metoda de control al pieselor pentru determinarea existenței fisurilor și a locurilor unde, datorită oboselii materialului, este probabilă apariția fisurii. Pentru aceasta piesa este supusă unor lovituri și sunetul produs este analizat cu ajutorul aparaturii electronice. Metoda s-a aplicat bielelor de motor și elicelor de avion. Gradul de oboseală a materialului elicei se poate controla fără scoaterea ei de pe avion (Nauka i jizni, U.R.S.S., nr. 7, 1987).

• În U.R.S.S. s-a elaborat un nou tip de contor de lichide, care seamănă cu o moară de apă. În interiorul unui corp cu două deschideri se rotește un rotor cu palete. Turația lui se măsoară cu ajutorul unei celule fotoelectrice. Contorul poate fi folosit pentru orice fel de lichide (Nauka i jizni, U.R.S.S., nr. 8, 1987).

• În U.R.S.S. s-a construit un laminor pentru laminarea la rece a țevilor. Spre deosebire de laminorul sistem Pilger, în cele 23 caje fixe, semifabricatul este laminat continuu cu o viteză de laminare mult mai mare, 3 000 m/h, față de 150 m/h. Dimensiunile și masa noului laminor sînt aceleași ca la laminorul clasic sistem Pilger (Nauka i jizni, U.R.S.S., nr. 8, 1987).

• Aliajele amorfe, numite și sticle metalice, conținînd circa 20% metaloizi, prezintă o serie de proprietăți remarcabile. Astfel, dacă sînt folosite în locul tablei electrotehnice, pierderile în miez se reduc de 2 . . . 4 ori. Metalul amorf este în medie de 5 . . . 7 ori mai rezistent mecanic decît analogul cristalin. Aliajul $Fe_{80}B_{20}$ amorf are rezistența la tracțiune de 370 daN/mm², avînd o rezistență mecanică dublă față de cele mai bune oțeluri aliate (Himiia i jizni, U.R.S.S., nr. 8, 1987).

• S-a început producerea inelelor de etanșare și lagărelor de alunecare din grafelon. Materialul elaborat în U.R.S.S. este constituit din amestec de poliamidă și poliesteri, iar ca umplutură se utilizează fibre de carbon. Produsele sînt foarte rezistente la acțiunea hidrocarburilor și lichidelor corosive, acizi, baze, distingîndu-se printr-o durată mare de serviciu la sarcini mari și temperaturi ridicate (Himiia i jizni, U.R.S.S., nr. 8, 1987).

• A fost creată o instalație electromagnetică care în curs de 1 min ameliorează considerabil caracteristicile mecanice ale pieselor din materiale feromagnetice. La acțiunea prin impuls a unui cîmp magnetic, straturile interioare ale materialului se magnetizează ceva mai tîrziu decît cele exterioare. Ca urmare, microdeformațiile decalate în timp provoacă modificări ale structurii cristaline a metalului, care favorizează reducerea tensiunilor interne apărute datorită prelucrării mecanice și tratamentului termic, eliminînd tensiunile din acoperirile aplicate (Himiia i jizni, U.R.S.S., nr. 10, 1987).

• **Utilizarea roboților industriali la montaj.** Se presupune că, pînă în anul 1990, pe piața mondială, numărul de roboți industriali va crește cu 30% în fiecare an. Dezvoltarea în continuare a tehnicii senzorilor va permite extinderea utilizării roboților industriali la operațiile de montaj. Pentru elaborarea construcțiilor de roboți industriali se va extinde utilizarea calculatorului. Concernul Mitsushita (Japonia) a elaborat 15 tipuri

Scanned with OKEN Scanner

de roboți industriali pentru utilizare la operații de montaj în industria construcțiilor de automobile și electronică. Dezvoltarea în continuare a roboților de montaj va fi îndreptată spre utilizarea sistemelor automate de recunoaștere a pieselor cu ajutorul traductoarelor sau sistemelor de urmărire vizuală. Perspective bune le are încorporarea roboților industriali în sisteme flexibile de producție. (Ind. — Ausrüt. — Mag. nr. 4 1986, p. 155,

• **Tendințele de dezvoltare a sistemelor flexibile de producție.** Se subliniază necesitatea automatizării producției de serie mică cu ajutorul acestor sisteme, legată de reducerea dimensiunilor loturilor de piese de prelucrat și de mărirea numărului de tipodimensiuni al acestora. Astfel, în anul 1970, mărimea loturilor era de 1 000 . . . 1 500 piese fără variante de piese în lot și la termene de livrare de 12—15 săptămîni. La ora actuală 80% din piese au variante, iar mărimea loturilor scade pînă la 200 de piese. Sisteme flexibile perfecționate au toate procesele informaționale, inclusiv proiectarea automatizată, pregătirea tehnologică, planificarea, comanda mașinilor, controlul producției, comanda sistemelor de transport-stocare, reunite într-o singură rețea informațională (LAN). Pentru crearea unei astfel de rețea, o mare importanță o au atît echipamentele cu interfețe standardizate ale diferitelor componente ale rețelei (calculator, echipamentul de CNI etc.), cît și canalele de legătură cu o capacitate ridicată. În acest scop se efectuează elaborări de protocol standard de legătură (MAP), a cărui variantă satisfăcătoare este așteptată în anul 1988. Pe baza unui asemenea protocol se planifică realizarea unei rețele automatizate de legătură între unele întreprinderi (WAN). La ora actuală, proiectarea sistemelor flexibile de producție se realizează în 6 . . . 12 luni, iar execuția 1 . . . 2 ani (ZWF, 81, 1986, nr. 8, p. 431—434, 397).

• **Posibilități de utilizare a ceramicii tehnice.** Deși apariția blocurilor ceramice ale motoarelor sau a carcaselor de turbine de gaz poate fi așteptată doar la începutul secolului al XXI-lea, aplicarea materialelor ceramice în industria electronică, pentru piese rezistente la uzare, matrițe, garnituri, filtre etc. a atins niveluri destul de ridicate, numeroase unități de producție și de cercetare depășind o serie de greutăți legate de materialele ceramice pe următoarele direcții principale: îmbunătățirea materialelor inițiale și a caracteristicilor pieselor, reducerea costului de producție și elaborarea modalităților specifice de proiectare și construire a pieselor din materiale ceramice. În ce privește materialele inițiale, o mare atenție este concentrată asupra producerii de pulberi coloidale prin dispersie cu laser și cu plasmă. Se subliniază elaborarea ZrO_2, stabilizat cu Y_2O_3, cu viscozitate ridicată. Cele mai de perspectivă sînt tehnologiile de sinterizare fără presiune, de presare prin injecție și de presare izostatică la cald (Engineering ceramics, 1986, 16, nr. 3, 174—177).

• **Comandă numerică perfecționată pentru electroeroziune.** Societatea Dieter Hansen a prezentat la expoziția Micronora 1984 de la Besançon o nouă generație de mașini echipate cu o comandă de dialog, purtînd denumirea de Erocom. Este vorba de o comandă interactivă cu afișare, reunind avantajele unei mari înlesniri în deservire cu cele ale unei suplețe și economii maxime (Machine Production, nr. 39, 10 octombrie 1984, pag. 41—42).

Scanned with OKEN Scanner

27

Lucrări apărute la Editura Tehnică în anul 1987

1. **T.C.M.M. 1 şi 2. Tehnologii. Calitate. Maşini. Materiale**
2. **ENERG 2 şi 3. Energie. Economie. Recuperare. Gospodărire**
3. **AMC 54 şi 55. Automatică. Management. Calculatoare**
4. *Maliţa, Mircea şi Maliţa, Mihaela*
   Inteligenţa artificială
   Vol. I. Logici propoziţionale
5. *Dudiţă, Fl. şi Diaconescu, D.*
   Optimizarea structurală a mecanismelor
6. *Gafiţanu, M. ş.a.*
   Elemente finite şi de frontieră cu aplicaţii la calculul organelor de maşini
7. *Vasilescu, F-H.*
   Iniţiere în teoria operatorilor
8. *Georgescu, Adelina*
   Sinergetica. O nouă sinteză a ştiinţei
9. *Marinescu, D. I. ş.a.*
   Desfăşurarea suprafeţelor asistată de calculator
10. *Spineanu, U.*
    Automatizarea controlului dimensiunilor în construcţia de maşini
11. *Marin, V. şi Alexandru, M.*
    Sisteme hidraulice automate. Construcţie, reglare, exploatare
12. *Enache, Şt. ş.a.*
    Tehnologia sculelor aşchietoare. Vol. I
13. *Pavel, A. ş.a.*
    Siguranţa în funcţionare a utilajelor petrochimice.
    Vol. I şi Vol. II
14. *Ispas, Şt.*
    Materiale compozite
15. *Teodorescu, M. ş.a.*
    Prelucrări prin deformare plastică la rece. Vol. I
16. *Minciu, C.*
    Proiectare şi tehnologia sculelor pentru danturare
17. *Turcoiu, T. ş.a.*
    Echipamente de injecţie pentru motoare cu ardere internă
18. *Brăgaru, A. ş.a.*
    SEFA DISROM. Sistem şi metodă. Vol II

Scanned with OKEN Scanner

19. *Rodina, A.*
Tuburi metalice flexibile. Fabricare. Utilizare. Exploatare.

20. *Țurcanu, C. și Ganea, N.*
Pompe volumice pentru lichide

21. *Cazimirovici, E. și Samoilescu, E.*
Calibrarea cilindrilor de laminare

22. *Maier, V.*
Mecanica și construcția navei
Vol II. Dinamica navei

23. *Militaru, C.*
Fiabilitatea și precizia în tehnologia construcțiilor de mașini

24. *Canță, Tr.*
Autoturismele OLTCIT

25. *Iordache, Gh. ș.a.*
Utilaje pentru industria materialelor de construcții

26. *Sofroni, L. ș.a.*
Fonte albe rezistente la uzare

27. *Cazimirovici, E. ș.a.*
Cartea laminoristului

28. *Georgescu, Al. ș.a.*
Îndrumar pentru utilizarea unsorilor în industrie

29. *Roman, P. ș.a.*
Probleme speciale de hidromecanică

30. *Constantinescu, P.*
Prevenirea uzurii motoarelor cu ardere internă
Colecția „Auto" nr. 20 și 21

31. *Precupețu, P. și Dale, C.*
Probleme de geometrie descriptivă cu aplicații în tehnică

32. *Belous, V.*
Creșterea performanțelor bicicletelor

33. *Stănescu, A. M. ș.a.*
Sisteme de automatizare pneumatice

34. *Dumitrescu, I. ș.a.*
Acționarea electrică a instalațiilor de foraj

35. *Balaure, E.*
Sisteme și echipamente de comandă numerică

36. *Dan, P. Al. ș.a.*
Diode cu siliciu (catalog)

37. *Drăgulănescu, N. și Ciucă, M.*
Echipamentul electronic al automobilului

38. *Vărzaru, C. și Constantinescu, C.*
Îndrumar pentru electroniști. Radio și televizoare. Vol. II și III

39. *Popescu, V. ș.a.*
Calitatea și asigurarea construcțiilor

40. *Avram, C. ș.a.*
Betonul armat în România. Vol. II

Scanned with OKEN Scanner

41. *Popa, I.*
Îndrumător pentru exploatarea macaralelor în construcții

42. *Banu, C. ș.a.*
Biotehnologii în industria alimentară

43. *Lehninger, A. L.*
Biochimie. Vol. I (traducere din lb. engleză)

44. *Văru, F.*
Utilaje pentru finisarea materialelor textile. Vol. I

45. *Huidu, E. și Jescu, I.*
Cartea minerului din exploatările la zi

46. *Ionel, I.*
Pământuri rare

47. *Matacă, Em.*
Tehnologii noi în extracția cărbunelui energetic

48. *Pop, G. N. și Leca, A.* (coord.)
Îndrumar. Tabele, nomograme și formule termotehnice Vol. I și II

49. *Radcenco, Vs. ș.a.*
Instalații frigorifice și criogenice

50. *Țuțuianu, Ov.*
Stocarea energiei

51. *Cernian, O. ș.a.*
Limbajul BASIC BS pentru calculatoare WANG

52. *Nabeja, Rodica Irina*
Diode și tranzistoare

53. *Stoica, Lidia ș.a.*
Chimie pentru metalurgi

54. *Ionescu-Muscel Ianculescu, M.*
Proiectarea matrițelor pentru produse injectate

Scanned with OKEN Scanner

28

Din lucrările apărute la Editura Tehnică în semestrul I 1988

1. *Hătărăscu, Ov. ș.a.*
   Îndreptar de metalurgie
2. *Jinescu, V. V.*
   Utilaj tehnologic pentru industrii de proces. Vol. III. Aparate și mașini pentru industrii de proces
3. *Mănoiu, D. I.*
   Fișier auto-moto și de circulație rutieră
4. *Sălăgean, Tr.*
   Optimizarea sudării cu arcul electric
5. *Enache, Șt. ș.a.*
   Tehnologia sculelor așchietoare. Vol. II
6. *Pavel, A. ș.a.*
   Siguranța în funcționare a instalațiilor petrochimice. Vol. III
7. *Nica, Al.*
   Ceramica tehnică
8. *Pumnea, C. ș.a.*
   Tehnici speciale de analiză fizico-chimică a materialelor metalice
9. *Dinu, M.*
   Metale de înaltă puritate
10. *Anton, I. ș.a.*
    Hidrodinamica turbinelor bulb și a turbinelor pompă-bulb
11. *Beziris, A. și Bamboi Gh.*
    Transportul maritim. Probleme tehnice și de exploatare. Vol. I

Scanned with OKEN Scanner

29

În curînd vor apărea la Editura Tehnică

1. *Teodorescu, M. ş.a.*
   Prelucrări prin deformare plastică la rece. Vol. II
2. *Blaier, P. ş.a.*
   Cartea maistrului prelucrător. Vol. I
3. *Dumitraş, C. şi Dragu, D.*
   Toleranţe şi lanţuri de dimensiuni în construcţia de ştanţe şi matriţe
4. *Tudor, A. ş.a.*
   Durabilitatea şi fiabilitatea transmisiilor mecanice
5. *Marinescu, M. I.*
   Tehnologii de prelucrare pe maşini în coordonate
6. *Beziris, A. şi Bamboi, Gh.*
   Transportul maritim. Probleme tehnice şi de exploatare. Vol. II
7. *Zarioiu, Gh.*
   Avioane şi helicoptere. Caracteristici constructive şi performanţe de zbor
8. *Stratulat, M.*
   Prevenirea risipei de combustibil
   Colecţia „Auto" nr. 22
9. *Crişan, I. ş.a.*
   Sisteme flexibile de montaj cu roboţi şi manipulatoare
10. *Truşculescu, M. ş.a.*
    Metale amorfe
11. *Vasiliu, N. şi Catană, I.*
    Transmisii hidraulice şi electrohidraulice
12. *Cosneanu, C. şi Ştefănescu, Cl.*
    Sisteme de amestecuri de formare pentru turnătorii
13. *Ripoşan, I. ş.a.*
    Fonte bainitice.

Scanned with OKEN Scanner

30

Trimiteți comenzile dv. de carte tehnică la una (eventual cea mai apropiată) dintre următoarele librării*)

Librăria Dacia, Cod 70 101 — Calea Victoriei, nr. 45, tel. 16.28.94, București

Librăria Mihai Eminescu, Cod 70 031 — Bd. Republicii, nr. 5, tel. 15.87.61, București

Librăria Minerva, Cod 70 179 — Calea Victoriei, nr. 126, tel. 50.39.43, București

Librăria Univers, Cod 70 443 — Calea Moșilor, nr. 62—68, tel. 15.70.78, București

„Cartea prin poștă", Cod 78 733 — Calea Moșilor, nr. 62—68, tel. 15.70.70, București

Librăria Mihail Sadoveanu, Cod 70 156 — Bd. Magheru, nr. 6—8, tel. 11.29.65, București

Librăria I. L. Caragiale, Cod 78 122 — Calea Griviței, nr. 80, tel. 50.34.87, București

Librăria Alfa (știință și tehnică), Cod 70 626 — Bd. Schitu Măgureanu, nr. 6, tel. 15.89.12, București

Librăria Lumina, Cod 71 131 — Cal. Dorobanților, nr. 168, bl. 15, tel. 33.48.80, București

Librăria nr. 50, Cod 70 601 — Bd. Gh. Gheorghiu-Dej, nr. 17, tel. 14.28.49, București

Librăria nr. 95, Cod 70 412 — Calea Victoriei, nr. 12, tel. 13.85.88, București

Librăria Ioan Slavici, Cod 2 500 — Alba Iulia, str. Ardealului, nr. 2, tel. 968/1.19.54, Jud. Alba

Librăria Ioan Slaviei, Cod 2 900 — Arad, bd. Republicii, nr. 86, tel. 966/1.47.87, Jud. Arad

Librăria Mihai Eminescu, Cod 0 300 — Pitești, str. Victoriei, nr. 89, tel. 976/3.07.93, Jud. Argeș

---

* Orice titlu de carte tehnică poate fi comandat completînd nota de mai jos și transmițînd-o librăriei pe care o frecventați sau secției „CARTEA PRIN POȘTĂ", în limita stocurilor rămase.

Către LIBRĂRIA .....

.....

Vă rog la apariție, să-mi expediați contra ramburs/rețineți următoarele cărți:

.....

EXPEDITOR: .....

Adresa: .....

Telefon: .....

Scanned with OKEN Scanner

Librăria nr. 1, Cod 5 500 — Bacău, str. N. Bălcescu, nr. 12, tel. 931/1.60.04, Jud. Bacău

Librăria Vasile Alecsandri, Cod 5 500 — Bacău, Calea Mărășești, nr. 14, tel. 931/3.52.34, Jud. Bacău

Librăria Mihai Eminescu, Cod 3 700 — Oradea, Piața Republicii, nr. 5, tel. 991/3.01.21, Jud. Bihor

Librăria George Coșbuc, Cod 4 400 — Bistrița, str. Armata Roșie, nr. 1, tel. 990/1.13.60, Jud. Bistrița-Năsăud

Librăria Mihai Eminescu, Cod 6 800 — Botoșani, Calea Națională, nr. 278, tel. 985/1.41.27, Jud. Botoșani

Librăria Șt. O. Iosif, Cod 2 200 — Brașov, str. 7 Noiembrie, nr. 14, tel. 921/4.41.00, Jud. Brașov

Librăria George Coșbuc, Cod 2 200 — Brașov, str. Republicii, nr. 24, tel. 921/4.43.95, Jud. Brașov

Librăria Mihai Eminescu, Cod 6 100 — Brăila, str. Republicii, nr. 34, tel. 946/1.44.30, Jud. Brăila

Librăria Mihai Eminescu, Cod 5 100 — Buzău, str. Piața Dacia, nr. 2, tel. 974/1.38.35, Jud. Buzău

Casa cărții, Cod 5 100 — Buzău, str. Cuza Vodă, nr. 1—3, tel. 974/1.38.35, Jud. Buzău

Librăria Eftimie Murgu, Cod 1 700 — Reșița, str. 6 Martie, nr. 1, tel. 964/1.54.03, Jud. Caraș-Severin

Librăria Ion Creangă, Cod 1 650 — Caransebeș, Piața 23 August, nr. 9, tel. 965/1.37.48, Jud. Caraș-Severin

Librăria nr. 1, Cod 8 500 — Călărași, str. Gh. Gheorghiu-Dej, nr. 44, tel. 911/1.36.48, Jud. Călărași

Librăria Universității, Cod. 3 400 — Cluj-Napoca, str. Universității, nr. 1, tel. 951/1.42.67, Jud. Cluj

Librăria Mihai Eminescu, Cod 8 700 — Constanța, str. Ștefan cel Mare, nr. 48, tel. 916/6.52.07, Jud. Constanța

Librăria nr. 1, Cod 4 100 — Miercurea Ciuc, str. Ciucului, nr. 1, tel. 958/1.14.52, Jud. Covasna

Librăria Grigore Alexandrescu, Cod 0 200 — Tîrgoviște, str. 30 Decembrie, nr. 33—35, tel. 926/1.16.50, Jud. Dîmbovița

Casa cărții, Cod 1 100 — Craiova, str. Olteț, bloc 2—4, tel. 941/1.50.70, Jud. Dolj

Librăria Școlii, Cod 1 100 — Craiova, str. Ion Maiorescu, bloc 7—14, Jud. Dolj

Librăria Centrală, Cod 6 200 — Galați, str. Brăilei, bloc I, tel. 934/1.50.25, Jud. Galați

Librăria nr. 1, Cod 8 375 — Giurgiu, Piața Unirii, nr. 19, tel. 912/1.11.74, Jud. Giurgiu

Librăria Mihai Eminescu, Cod 1 400 — Tîrgu Jiu, str. Victoriei, nr. 39 bis, tel. 929/1.49.10, Jud. Gorj

Librăria nr. 1, Cod 4 100 — Miercurea Ciuc, str. Petőfi Sándor, nr. 8, tel. 958/1.14.52, Jud. Harghita

Librăria Mihai Eminescu, Cod 2 700 — Deva, bd. Petru Groza, nr. 18, tel. 956/1.11.35, Jud. Hunedoara

Librăria Ion Creangă, Cod 2 675 — Petroșani, str. Republicii, nr. 72, tel. 957/4.16.54, Jud. Hunedoara

Librăria nr. 20, Cod 2 750 — Hunedoara, Piața Libertății, nr. 20, tel. 958/1.12.88, Jud. Hunedoara

Librăria nr. 2, Cod 8 400 — Slobozia, str. Matei Basarab, nr. 27, tel. 910/1.17.87, Jud. Ialomița

Casa cărții, Cod 6 600 — Iași, str. Ștefan cel Mare, nr. 67, tel. 981/4.24.71, Jud. Iași

Scanned with OKEN Scanner

Librăria Junimea, Cod 6 600 — Iași, Piața Unirii, bloc 4, tel. 981/1.46.64, Jud. Iași

Librăria nr. 1, Cod 4 800 — Baia Mare, Piața Gh. Gheorghiu-Dej, nr. 9, tel. 994/1.18.34, Jud. Maramureș

Librăria Luceafărul, Cod 4 925 — Sighetu Marmației, str. Bogdan Vodă, nr. 10, tel. 995/1.14.73, Jud. Maramureș

Librăria Decebal, Cod 1 500 — Drobeta Turnu-Severin, str. Traian, nr. 1, tel. 987/1.38.81, Jud. Mehedinți

Librăria Universală, Cod 4 300 — Tîrgu Mureș, Piața Trandafirilor, nr. 20, tel. 954/1.71.81, Jud. Mureș

Librăria Calistrat Hogaș, Cod 5 600 — Piatra Neamț, Bd. Chimiei, bloc C 6, tel. 936/1.13.08, Jud. Neamț

Librăria Ion Minulescu, Cod 0 500 — Slatina, str. 7 Noiembrie, nr. 7, tel. 944/1.14.74, Jud. Olt

Casa cărții, Cod 2 000 — Ploiești, str. Romană, nr. 28—30, tel. 971/4.29.69, Jud. Prahova

Librăria Mercur, Cod 2 000 — Ploiești, Complexul Mercur, tel. 971/4.54.91, Jud. Prahova

Librăria Dacia, Cod 3 900 — Satu Mare, str. Horea, nr. 6, tel. 997/1.17.34, Jud. Satu Mare

Librăria nr. 1, Cod 4 700 — Zalău, Bd. Mihai Viteazul, nr. 2, tel. 966/1.25.55, Jud. Sălaj

Librăria Mihai Eminescu, Cod 2 400 — Sibiu, str. Telefoanelor, nr. 2, tel. 924/1.32.12, Jud. Sibiu

Librăria Luceafărul, Cod 2 400 — Sibiu, Bd. Gh. Gheorghiu-Dej, bloc 35, tel. 924/3.06.35, Jud. Sibiu

Librăria Ciprian Porumbescu, Cod 5 800 — Suceava, str. 23 August, bloc B1, tel. 987/1.27.26, Jud. Suceava

Librăria nr. 1, Cod 0 700 — Alexandria, str. Libertății, nr. 234, tel. 913/1.22.64, Jud. Teleorman

Librăria Mihai Eminescu, Cod 1 900 — Timișoara, str. Măceșilor, nr. 2, tel. 961/3.21.16, Jud. Timiș.

Librăria Universității, Cod 1 900 — Timișoara, str. Rodnei, nr. 4, tel. 961/3.07.71, Jud. Timiș

Librăria Ion Vidu, Cod 1 800 — Lugoj, str. Gh. Gheorghiu-Dej, nr. 4, tel. 963/1.33.10, Jud. Timiș

Librăria Mihai Eminescu, Cod 8 800 — Tulcea, str. Isaccei, nr. 1, Jud. Tulcea

Librăria nr. 1, Cod 6 500 — Vaslui, str. I. C. Frimu, nr. 1, tel. 983/1.27.82, Jud. Vaslui

Librăria Anton Pann, Cod 1 000 — Rîmnicu Vîlcea, Bd. V. I. Lenin, nr. 144, tel. 947/1.12.21, Jud. Vîlcea

Librăria Ion Creangă, Cod 5 300 — Focșani, str. Mare a Unirii, nr. 122, tel. 939/1.34.13, Jud. Vrancea

Scanned with OKEN Scanner

Tehnoredactor: V. E. UNGUREANU
Coperta: SIMONA DUMITRESCU

Bun de tipar: 10.08.1988.
Coli tipar: 20,50.
C.Z.: 621.7+9 : 9 : 62—1 : 66

Tiparul executat sub comanda nr. 4/1988, la
Întreprinderea Poligrafică „Crișana", Oradea
str. Leontin Sălăjan nr. 105
Republica Socialistă România

Scanned with OKEN Scanner

TCMM

Seria de lucrări TCMM, cu caracter de instruire, informare și documentare pentru un cerc larg de lucrători din principalele ramuri industriale ale economiei naționale, este editată anual în 3–4 volume cu circa 300 pagini fiecare, avînd prețul antecalculat de ≈30 lei/volum.

În anul 1988 este prevăzută apariția a două volume, în care sînt abordate tematici din mari domenii:

- modernizarea producției industriale;
- concepte și strategii în promovarea progresului tehnic;
- calitate, fiabilitate, mentenabilitate;
- mașini, utilaje, echipamente, aparatură, SDV-uri;
- tehnologii moderne și de mare eficiență economică;
- interdisciplinaritate, note tehnico-documentare;
- cataloage de produse industriale.

La această publicație, dată fiind importanța pe care o prezintă lucrările seriei pentru rezolvarea problemelor modernizării întreprinderilor și producției industriale, abordînd tematici în strînsă legătură cu aceasta, trebuie făcută rezervarea unor volume (fără avansarea prealabilă de fonduri bănești). Pentru aceasta trebuie să trimiteți din timp (cu cîteva luni înainte de apariția volumului respectiv) comenzile dv. cu caracter ferm (cu indicarea contului de virament pentru întreprinderi, institute de cercetare și proiectare, șantiere și instituții, respectiv adresa exactă, pentru cititori) Centrelor de Librării, județene sau orășenești, din raza teritoriului în care activați. Plata se face prin rambursare la primirea exemplarelor comandate.

EDITURA TEHNICĂ

3

Serie continuă de **studii** *și* **cercetări aplicative, sinteze documentare, actualități** *și* **materiale informative** *consacrate* **progresului tehnic contemporan** *din domeniile ingineriei tehnologice, promovării noilor tehnologii, calității produselor, materialelor, mașinilor, utilajelor, echipamentelor, aparaturii și S.D.V.-urilor.*

Lei 29

Scanned with OKEN Scanner